

Persönliche PDF-Datei für

Rony-Orijit Dey Hazra, Robert Maximilian Blach, Alexander Ellwein, Jan Christoph Katthagen, Helmut Lill, Gunnar Jensen

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Aktuelle Entwicklungen der Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen – eine Auswertung von 1162 Fällen an einem Level-1-Traumazentrum mit schulterchirurgischem Schwerpunkt

DOI 10.1055/a-1333-3951
Z Orthop Unfall

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kollegen und zur Verwendung auf der privaten Homepage des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

Verlag und Copyright:

© 2021. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany
ISSN 1864-6697

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags

 **Thieme**

Aktuelle Entwicklungen der Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen – eine Auswertung von 1162 Fällen an einem Level-1-Traumazentrum mit schulterchirurgischem Schwerpunkt

Latest Trends in the Current Treatment of Proximal Humeral Fractures – an Analysis of 1162 Cases at a Level-1 Trauma Centre with a Special Focus on Shoulder Surgery

Autoren

Rony-Orijit Dey Hazra¹ , Robert Maximilian Blach¹, Alexander Ellwein², Jan Christoph Katthagen³, Helmut Lill¹, Gunnar Jensen¹

Institute

- 1 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, DIAKOVERE Friederikenstift, Hannover, Deutschland
- 2 Orthopädische Klinik der medizinischen Hochschule Hannover (MHH), DIAKOVERE Annastift, Hannover, Deutschland
- 3 Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Münster, Deutschland

Schlüsselwörter

proximale Humerusfraktur, inverse Schulterprothese, Osteoporose, PEEK-Plattenosteosynthese, Doppelplattenosteosynthese

Key words

proximal humerus fracture, reverse shoulder arthroplasty, osteoporosis, CFR-PEEK plate osteosynthesis, dual plate fixation

online publiziert

Bibliografie

Z Orthop Unfall 2021

DOI 10.1055/a-1333-3951

ISSN 1864-6697

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Dr. med. Rony-Orijit Dey Hazra
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,
DIAKOVERE Friederikenstift
Humboldtstraße 5, 30169 Hannover, Deutschland
Tel.: 05 11/1 29-23 31, Fax: 05 11/1 29-0
Rony-Orijit.Deyhazra@diakovere.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die Versorgung der proximalen Humerusfraktur (PHF) ist komplex und verändert sich aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse dynamisch. Häufig werden in epidemiologischen Studien Daten präsentiert, die den demografischen Wandel und aktuelle Entwicklungen bei Implantatmaterial und Operationstechniken nicht miteinbeziehen. Das primäre Ziel dieser Studie war es, die Epidemiologie und Versorgungsrealität der PHF an einem Level-1-Traumazentrum mit schulterchirurgischem Schwerpunkt und die Veränderungen im Laufe eines Jahrzehnts zu evaluieren.

Hypothesen 1. Zwischen den Zeiträumen von 2009 bis 2012 und 2014 bis 2017 zeigt sich eine Zunahme der Frakturkomplexität 2. In Korrelation mit der Komplexität steht die Anzahl an Nebenerkrankungen sowie die Häufigkeit der Osteoporose.

Material und Methoden Von 2014 bis 2017 wurden 589 Patienten (73% weiblich; Durchschnittsalter 68,96 ± 14,9 Jahre) mit insgesamt 593 PHFs in diese retrospektive Studie eingeschlossen. Die Patientenakten, Röntgenbilder und CT-Untersuchungen aller Patienten wurden analysiert. Frakturen mit Ad-latus-Dislokation von < 0,5 cm und/oder einer Humeruskopfanguktion von < 20° wurden als undisloziert klassifiziert. Patienten mit dislozierten Frakturen wurden in einen operativen Therapiealgorithmus eingeschlossen. Diese Ergebnisse wurden mit denen einer Kohorte von 2009 bis 2012 (n = 566) verglichen, die zu damaliger Zeit unter gleichen Kriterien eingeschlossen wurde.

Ergebnisse Im entsprechenden Beobachtungszeitraum bestand ein vergleichbares Patientenkollektiv bez. Anzahl, Geschlechterverteilung und Alter. Dabei zeigte sich von 2009 bis 2012 im Vergleich zu 2014 bis 2017 eine Zunahme der 4-Part-Frakturen (20,4 zu 30%) bei gleichzeitiger Abnahme der 2-Part-Frakturen (13,9 zu 8,6%). In den Versorgungstechniken war bei Abnahme der konservativen Behandlung (27,8 zu 20,6%), der Nagelosteosynthese (10,7 zu 2,7%) und der anatomischen Prothese (5,4 zu 1%) eine gleichzeitige Zunahme der winkelstabilen Plattenosteosynthese (43,2 zu 56,7%) und der inversen Schulterprothese (9 zu 18,4%) erkennbar. Insgesamt konnte von 2009 bis 2012 zu 2014 bis 2017 eine

Zunahme der operativen Versorgung (72,2 zu 79,4%) festgestellt werden. Es zeigte sich im zeitlichen Verlauf eine Zunahme der vorbekannten Osteoporoseinzidenz (13 zu 20,6%) sowie eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen.

Schlussfolgerung Bei gleicher Beobachtungsdauer zeigt sich in einem spezialisierten Schulterzentrum von 2009 bis 2012 auf 2014 bis 2017 neben einer Zunahme der operativ behandelten Frakturen eine Steigerung der Komplexität der versorgten Verletzungen. Zudem kann man eine Zunahme an Osteoporose sowie eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen beobachten. Als Folge der zunehmenden Komplexität wurden neben neuen Implantaten (PEEK, fenestrierte Schrauben zur Zementaugmentation) neue operative Techniken entwickelt (DPO). Als Konsequenz der zunehmenden Komplexität und der gesteigerten Osteoporosehäufigkeit zeigt sich eine Zunahme der inversen Schulterprothetik bei proximalen Humerusfrakturen.

ABSTRACT

Background The management of proximal humeral fracture (PHF) is not only complex but ever changing. Published epidemiological data are often dated and do not factor in demographic changes or the latest developments in implant material and surgical techniques.

Aims The primary aim of this study was to evaluate changes in the epidemiology and actual treatment of PHF at a level-1 trauma centre, with a special focus on shoulder surgery.

Hypotheses 1. Between 2009 to 2012 and 2014 to 2017, an increase in complex PHF entities can be observed. 2. In correlation with fracture complexity, an increasing number of comorbidities, especially osteoporosis, can be observed.

Methods Between 2014 and 2017, a total of 589 patients (73% female; mean age: 68.96 ± 14.9 years) with 593 PHFs were treated. Patient records and imaging (XRs and CTs) of all patients were analysed. Fractures with ad latus displacement of a maximum of 0,5 cm and/or humeral head angulation of less than 20° were classified as non-displaced. Patients with displaced fractures were included in the analysis of the therapeutic algorithm. These results were compared to those of a cohort 2009 to 2012 (566 patients, 569 PHFs), which used the same inclusion criteria.

Results The two cohorts showed comparable patient numbers, as well as gender and age distributions. Between 2009 to 2012 and 2014 to 2017, a decrease in 2-part fractures (13.9 to 8.6%) and a simultaneous increase in 4-part fractures (20.4 to 30%), and thus fracture complexity was observed. Further decreases were observed in conservative therapy (27.8 to 20.6%), nail osteosynthesis (10.7 to 2.7%) and anatomic shoulder arthroplasty (5,4 to 1%). Furthermore, there was an increase in the use of locking plate osteosynthesis (43.2 to 56.7%) and reverse shoulder arthroplasty (9 to 18.4%). The general trend shows an increase in surgical therapy between the years (72.2 to 79.4%), as well as an increase in osteoporosis incidence (13 to 20.6%). The greatest numbers of comorbidities were found in 3- and 4-part fractures.

Conclusion There is an increase in both the complexity of fractures and the number of surgically treated fractures between 2009 and 2012. Furthermore, an increase in osteoporosis numbers can be observed. New implants (PEEK, fenestrated screws for cement augmentation) and new surgical techniques (double plating osteosynthesis) were used as a result of increasing fracture complexity. Moreover, reverse total shoulder arthroplasty was used more commonly.

Einleitung

Durch die älter werdende Gesellschaft und den hieraus resultierenden demografischen Wandel stellt die proximale Humerusfraktur inzwischen die dritthäufigste Fraktur des alternierenden Patienten dar [1]. Mit einer Häufigkeit von inzwischen 4–5% aller Frakturen des Erwachsenen ist die proximale Humerusfraktur (PHF) nach wie vor im Fokus aktueller Forschung [2]. Ausgehend von einer zunehmenden Inzidenz der Osteoporose wird eine Zunahme der Häufigkeit von proximalen Humerusfrakturen erwartet [3].

Hieraus resultiert eine stetige Veränderung bei verwendetem Implantatmaterial, den Operationstechniken und nicht zuletzt dem ärztlichen Handeln. Ergebnis dieser stetigen Veränderungen ist eine Dynamik, die von einem Großteil der publizierten epidemiologischen Daten nicht aufgegriffen wird. In den letzten Jahren zeigte sich ein Trend, diese epidemiologischen Daten über zentrale Datenbanken zu generieren [4, 5]. Als Vorteil erwies sich eine große Anzahl an Patienten, jedoch mit dem Nachteil, die Versorgungstechniken von spezialisierten Schulterzentren nicht darzustellen.

Trotz der sich häufenden Publikationen über ein konservatives Vorgehen bei der proximalen Humerusfraktur [6–8], ist weiterhin

eine Zunahme des operativen Vorgehens in der Literatur beschrieben [9].

Um die Versorgungsmöglichkeiten, insbesondere bei osteoporosebedingten komplexen Frakturen, zu verbessern, ist eine Vielzahl neuer Trends bei Techniken und Implantaten erkennbar.

Innovationen der letzten Jahre sind vor allem [10, 11]:

- polyaxiale Schraubensysteme [12, 13]
- zementaugmentierte Schrauben [14–17]
- carbonfaserverstärkte Platten aus dem Kunststoff Polyetheretherketon (PEEK) [18–20]
- Doppelplattenosteosynthese bei komplexen 4-Part-Frakturen [21–24]

Bei nicht rekonstruierbaren proximalen Humerusfrakturen geht bei den „fractures of the elderly“ der Trend zu einer primären inversen Schulterprothese oder alternativ zu dem Belassen in der konservativen Heilbehandlung [25, 26].

Innovationen bei der inversen Schulterprothetik der letzten Jahre sind vor allem [10]:

- Varisierung des glenohumeralen Inklinationswinkels
- inferiore Positionierung der „Baseplate“
- konsequente Refixation der Tubercula

► **Tab. 1** Therapiealgorithmus aus: Katthagen JC, Grabowski S, Huber M et al. Epidemiologie und Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen an einem spezialisierten Level-1 Traumazentrum. Zeitschrift für Obere Extremität 2016 [27].

Fraktur	18–60 Jahre	61–70 Jahre	> 70 Jahre
Tuberculum majus	Platte	Platte	Platte
2-Part-Fraktur	Platte	Platte/Nagel	Platte/Nagel
3-Part-Fraktur	Platte	Platte	Platte
4-Part-Fraktur	Versuch Rekonstruktion, sonst anatomische TEP	Versuch Rekonstruktion, sonst inverse TEP	Versuch Rekonstruktion, sonst inverse TEP
Headsplit/Trümmer	Versuch Rekonstruktion, sonst anatomische TEP	inverse TEP	inverse TEP

TEP: Totalendoprothese. Nicht bzw. kaum dislozierte Frakturen wurden konservativ versorgt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Veränderungen in der Epidemiologie und die aktuellen Veränderungen in der Versorgungsrealität in einem überregionalen Traumazentrum und Haus der Schwerstverletztenversorgung mit Schwerpunkt in der Schulterchirurgie zu evaluieren.

Hypothesen:

1. Im Vergleich zwischen den Zeiträumen 2009 bis 2012 und 2014 bis 2017 zeigt sich eine Zunahme der Frakturkomplexität.
2. In Korrelation mit der Komplexität steht die Anzahl an Nebenkrankungen sowie die Zunahme der Osteoporose.

Methoden

Für die vorliegende retrospektive Studie besteht das Einverständnis der lokalen Ethikkommission (Nr. 8526_BO_K_2019). Hierbei wurde der Zeitraum von 2014 bis 2017 (42 Monate/Gruppe 2) bez. der Epidemiologie und Veränderungen der Versorgungsstrategien betrachtet und ausgewertet. Zur Darstellung aktueller Entwicklungen wurden die Daten mit jenen des Zeitraums von 2009 bis 2012 (42 Monate/Gruppe 1) verglichen [27].

Die Ausschlusskriterien umfassten:

- Patientenalter < 18 Jahre
- primär auswärtige Therapie
- pathologische Fraktur
- Humerusschaftfraktur
- knöcherne Avulsionsverletzungen der Supraspinatussehne
- dorsale Humeruskopfluxation

Frakturen mit Ad-latus-Dislokation von max. 0,5 cm und/oder einer Humeruskopfangulation von weniger als 20° wurden als undisloziert klassifiziert. Bei diesen wurde ein konservatives Heilverfahren eingeleitet.

Die Patientenakten mit patientenspezifischen Informationen, wie dem Geburtsdatum, Traumazeitpunkt, Geschlecht, Nebenkrankungen und Bildgebung im Sinne von Röntgenbildern und CT-Untersuchungen, wurden analysiert. Alle Patienten erhielten eine präoperative Computertomografie, nach der alle Frakturen durch einen erfahrenen Schulter spezialisten nach Resch, Neer und der Segmenttheorie von Codman klassifiziert wurden [28,

29]. Die Analyse ist kohärent zu den bisherigen Daten dieser Studiengruppe [27].

Alle Frakturen wurden nach dem bisherigen publizierten Therapiealgorithmus behandelt (► **Tab. 1**) [27].

Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mittels Microsoft Excel (Version 16.16.16), Microsoft Office Professional Plus 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA), IBM SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, New York, USA) und GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, San Diego, USA). Nach deskriptiver Analyse und Überprüfung einer Normalverteilung mittels Kolmogorow-Smirnow-Test (KS-Test) wurde zum statistischen Vergleich beider Patientenkohorten der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test (MWU-Test) verwendet. Der Vergleich der einzelnen Gruppen und Subgruppen erfolgte durch den Chi-Quadrat-Test. Als statistisch signifikant sind p-Werte unter 0,05 definiert.

Ergebnisse

Patientenkohorte

Im 1. Zeitraum von 2009 bis 2012 (42 Monate/Gruppe 1) erlitten 566 Patienten insgesamt 569 PHFs. Von diesen waren 71,4% weiblich, bei einem durchschnittlichen Patientenalter von 68,1 ± 15 Jahren (Range 23–102).

Im 2. Zeitraum von 2014 bis 2017 (42 Monate/Gruppe 2) erlitten 589 Patienten insgesamt 593 PHFs, bei einem durchschnittlichen Patientenalter von 68,96 ± 14,9 Jahren (Range 18–99). Hiervon waren 73% weiblich (► **Tab. 2**). Beide Gruppen zeigen keine Normalverteilung im KS-Test und keinen signifikanten Unterschied bez. des Alters im MWU-Test ($p = 0,334$) und des Geschlechtes im Chi-Quadrat-Test ($p = 0,495$).

In Gruppe 1 erhielten 158 Patienten (27,8%) eine konservative Heilbehandlung und 411 Patienten eine operative Heilbehandlung (72,2%). Im Vergleich hierzu erhielten in Gruppe 2 122 Patienten (20,6%) eine konservative und 471 (79,4%) eine operative Heilbehandlung.

In der statistischen Analyse mittels Chi-Quadrat-Test zeigt sich eine signifikante Zunahme des operativen Vorgehens in Gruppe 2 (79,4%) im Vergleich zu Gruppe 1 (72,2%; $p = 0,004$).

► **Tab. 2** Patientenkollektive. In Gruppe 1 wurden alle proximalen Humerusfrakturen von 01/2009 bis 06/2012 und in Gruppe 2 von 06/2014 bis 12/2017 betrachtet.

Gruppe 1: 2009–2012	
Patientenanzahl	n = 566
Alter	68,1 ± 14,9
Männer:Frauen	29:71 %
Gruppe 2: 2014–2017	
Patientenanzahl	n = 589
Alter	68,96 ± 14,9
Männer:Frauen	27:73 %

Frakturmorphologie

In Gruppe 1 zeigten sich in 227 Fällen (39,9%) 3-Part-Frakturen, in 116 Fällen (20,4%) 4-Part-Frakturen, in 79 Fällen (13,9%) 2-Part-Frakturen, in 42 Fällen (7,4%) eine Headsplit-Komponente, in 28 Fällen (4,9%) eine Luxationsfraktur und in 18 Fällen (3,2%) eine Trümmerfraktur. Isolierte Frakturen des Tuberculum majus kamen in 56 Fällen (9,8%) vor.

In Gruppe 2 zeigten sich in 218 Fällen (36,8%) 3-Part-Frakturen, in 178 Fällen (30%) 4-Part-Frakturen, in 51 Fällen (8,6%) 2-Part-Frakturen, in 50 Fällen (8,4%) eine Headsplit-Komponente, in 26 Fällen (4,4%) eine Luxationsfraktur und in 6 Fällen (1%) eine Trümmerfraktur. Insgesamt sind 63 isolierte Tuberculum-majus-Frakturen (10,6%) im späteren Patientenkollektiv vertreten.

In der statistischen Analyse zeigt sich im Chi-Quadrat-Test ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 bez. der Frakturmorphologie ($p < 0,001$). In der Subgruppenanalyse sind zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 keine signifikanten Unterschiede vorhanden bez. Tuberculum-majus-Frakturen ($p = 0,660$), 3-Part-Frakturen ($p = 0,272$), Headsplit-Frakturen ($p = 0,507$) und Luxationsfrakturen ($p = 0,664$). Im Gegensatz hierzu zeigt sich von Gruppe 1 zu Gruppe 2 eine signifikante Abnahme bei 2-Part-Frakturen ($p = 0,004$) und eine signifikante Zunahme in 4-Part-Frakturen ($p = < 0,001$).

Versorgungsstrategie

In Gruppe 1 erhielten 158 Patienten (27,8%) eine konservative Heilbehandlung, 61 Patienten (10,7%) eine Nagelosteosynthese, 246 (43,2%) eine winkelstabile Plattenosteosynthese, 31 Patienten (5,4%) eine anatomische Prothese und 51 (9%) eine inverse Schulterprothese. In 22 Fällen (3,9%) wurde eine sonstige individuelle Versorgung durchgeführt.

In Gruppe 2 erhielten 122 Patienten (20,6%) eine konservative Heilbehandlung, 16 Fälle (2,7%) eine Nagelosteosynthese, 336 (56,7%) eine winkelstabile Plattenosteosynthese, 6 Patienten (1%) eine anatomische Prothese und 109 Fälle eine inverse Schulterprothese (18,4%). In 4 Fällen (0,7%) wurde eine sonstige individuelle Versorgung durchgeführt.

Beide Patientenkollektive weisen im Chi-Quadrat-Test signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) auf bez. der verwendeten Therapieverfahren. In der Subgruppenanalyse zeigt sich eine signifikante Abnahme in der konservativen Heilbehandlung von Gruppe 1

zu Gruppe 2 ($p = 0,004$), bei der anatomischen Schulterprothese ($p < 0,001$) und bei der Nagelosteosynthese ($p < 0,001$). Im Gegensatz hierzu findet sich eine signifikante Zunahme von Gruppe 1 zu Gruppe 2 bez. der winkelstabilen Plattenosteosynthese ($p < 0,001$) und der inversen Schulterprothese ($p < 0,001$).

Nebenerkrankungen

Es zeigt sich eine statistisch signifikante Zunahme an anamnestisch erhobener Osteoporose von Gruppe 1 (74 Patienten; 13%) zu Gruppe 2 (122 Patienten; 20,6%; $p = 0,001$).

Von Gruppe 1 zu Gruppe 2 findet sich eine Abnahme an anamnestisch erhobenen Nebenerkrankungen in der Gesamtsumme von 974 zu 846. Zudem zeigt sich in beiden Gruppen eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen (► **Abb. 1**).

Implantatmaterial

In beiden Zeiträumen war die winkelstabile Plattenosteosynthese das am meisten verwendete Implantat. Diese haben in Gruppe 1 246 und in Gruppe 2 336 Patienten erhalten, was einer statistisch signifikanten Zunahme ($p < 0,001$) entspricht. Hierbei sind in Gruppe 2 neue Versorgungsstrategien eingesetzt worden. Von den 336 Fällen wurde in 29 Fällen (8,6%) statt der konventionellen Titanplatten eine auf Carbon basierende PEEK-Platte verwendet. In 121 der 336 Fälle (36,0%) wurde eine Augmentation der Humeruskopfschrauben mit Knochenzement durchgeführt (► **Abb. 2**). In 13 der 336 Fälle (3,9%) wurde bei komplexer Frakturmorphologie eine sog. Doppelplattenosteosynthese (DPO), wie in ► **Abb. 3** dargestellt, durchgeführt.

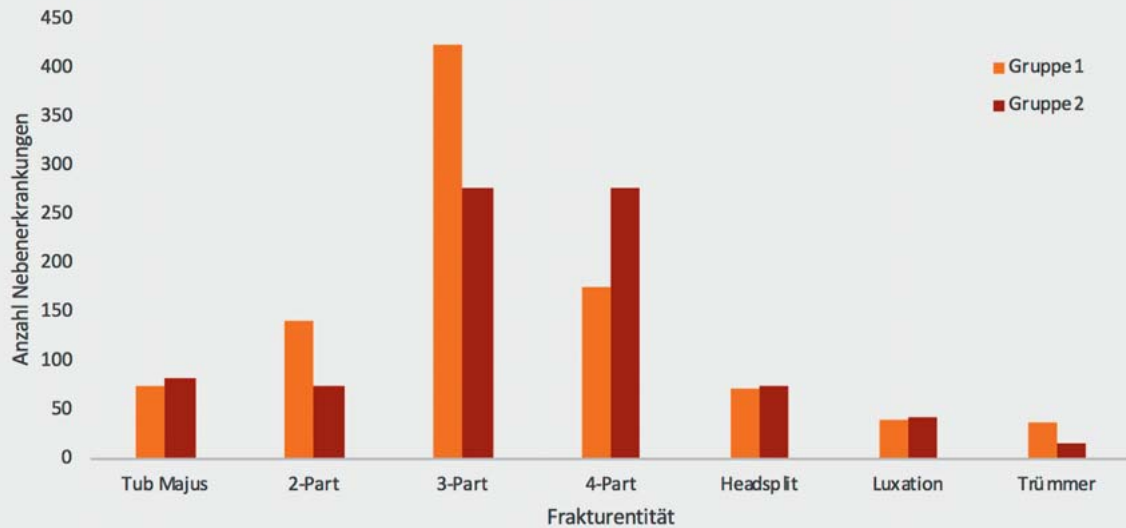
Von Gruppe 1 zu Gruppe 2 findet sich bez. der winkelstabilen Plattenosteosynthesen eine signifikante Abnahme der additiven Zuggurtung der Rotatorenmanschette (46% in Gruppe 1 zu 38% in Gruppe 2, $p = 0,041$).

Bei der inversen Schulterprothetik ist eine signifikante Zunahme der Tubercularefixationen von Gruppe 1 zu Gruppe 2, von 18 (35%) auf 61 (56%) Patienten ($p = 0,015$), zu beobachten.

Diskussion

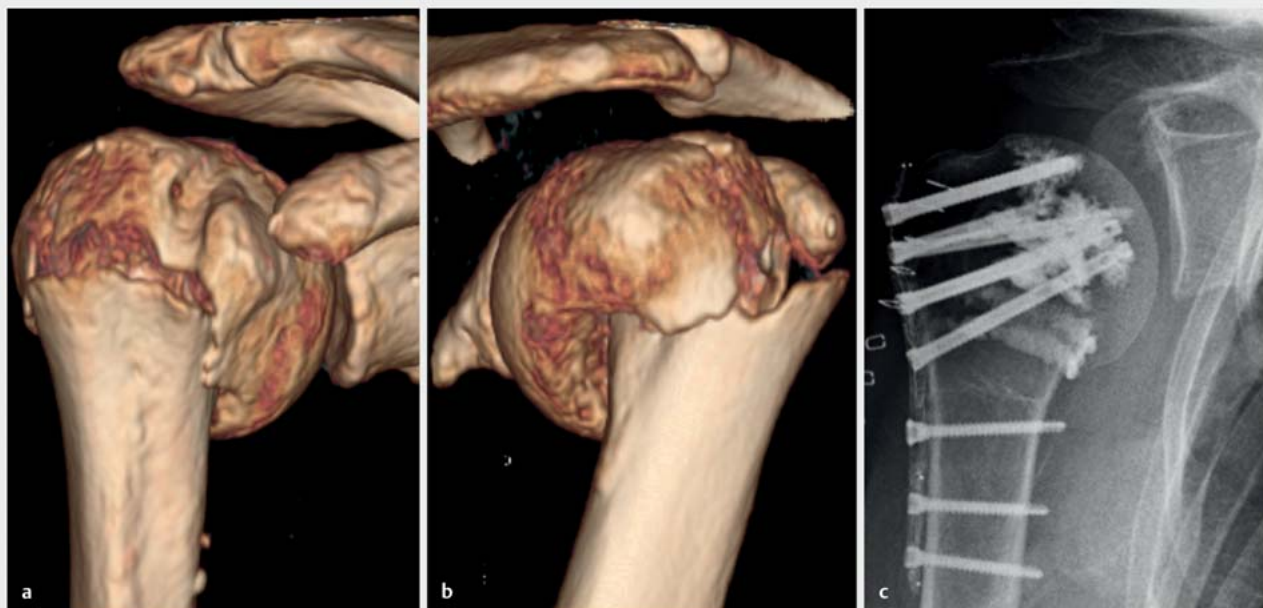
Die wichtigsten Erkenntnisse der vorliegenden Studie sind eine signifikante Zunahme an 4-Part-Frakturen bei gleichzeitiger Abnahme an 2-Part-Frakturen von 2009 bis 2012 im Vergleich zu 2014 bis 2017. Zusätzlich konnte, neben einer Zunahme in der anamnestisch erhobenen Osteoporoseinzidenz, eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen festgestellt werden.

In der Literatur wird als häufigste Frakturmorphologie die klassische 2-Part-Fraktur im Bereich des Collum chirurgicum nach niedrigenergetischem Trauma auf die Schulter, wie ein Sturz aus dem Stand, beschrieben [30,31]. Meist handelt es sich wie bei Bergdahl et al. und Launonen et al. um Registerdaten [30,31]. Launonen et al. zeigten von 2006 bis 2010 insgesamt 692 proximale Humerusfrakturen, wovon 62% 2-Part-Frakturen und 19% 3-Part-Frakturen waren [31]. Im Vergleich hierzu beschrieben Bergdahl et al. von 2011 bis 2013 bei einer Kohorte von 1582 Patienten in 44,9% 2-Part-Frakturen und in 44% der Fälle 3-Part-Frakturen [30]. In unserer Vergleichsgruppe von 2009 bis 2012 zeigte unsere Studiengruppe in 14% 2-Part-Frakturen und in

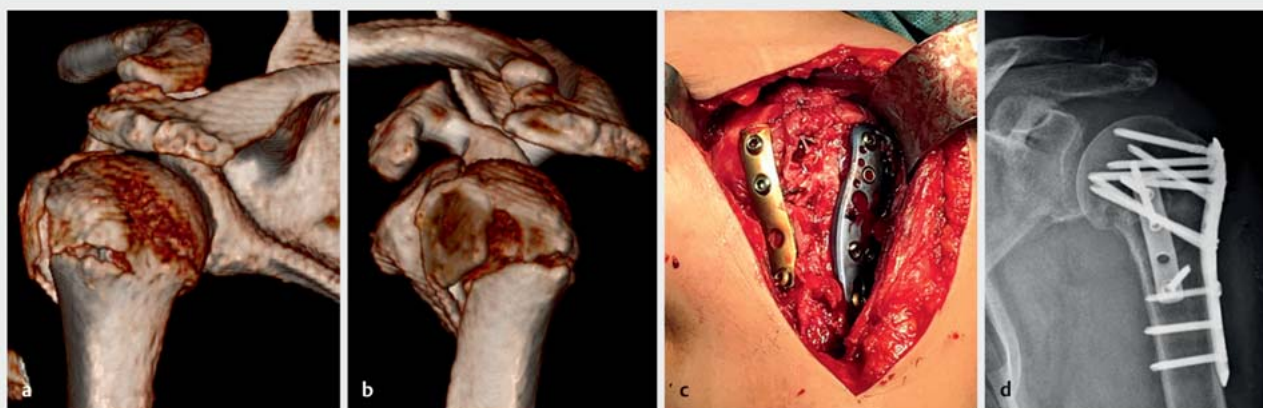


Gruppe 1							
Fraktur	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Luxation	Trümmer	Tub. Majus
Vorerkrankungen							
Osteoporose	14	28	19	5	3	2	2
Diabetes mellitus	7	28	23	10	4	3	1
Rauchen	10	37	24	7	8	5	10
C2	11	36	10	7	3	5	7
Tumor	10	31	22	7	3	4	7
Neurologische Grunderkrankung	32	72	20	6	7	5	14
Muskulär	0	1	1	0	0	0	0
Sonstige	57	192	58	31	12	13	34
Summe	141	425	177	73	40	37	75
Gruppe 2							
Fraktur	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Luxation	Trümmer	Tub. Majus
Vorerkrankungen							
Osteoporose	14	39	42	8	9	1	9
Diabetes mellitus	7	23	16	7	3	1	6
Rauchen	8	43	38	12	3	3	8
C2	3	12	17	4	0	0	8
Tumor	2	16	14	3	4	1	4
Neurologische Grunderkrankung	10	31	31	8	3	2	10
Muskulär	0	4	3	2	1	0	1
Sonstige	30	109	117	30	21	8	36
Summe	74	277	278	74	44	16	82

► **Abb. 1 a** Verteilung der Anzahl an Nebenerkrankungen auf die Frakturmorphologie. Zunahme der Anzahl an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen. **b** Verteilung der Nebenerkrankungen auf die Frakturmorphologie.



► **Abb. 2** 68-jähriger Patient mit einer varisch distrahierten 3-Part-Humeruskopffraktur (a–c). Operative Adressierung mit röntgendurchlässiger PEEK-Plattenosteosynthese (PEEK: Polyetheretherketon) und Augmentierung der Humeruskopfschrauben mit Knochenzement (c). Von 2014 bis 2017 wurde bei 29 Fällen eine PEEK-Platte verwendet und in 121 Fällen eine Zementaugumentation durchgeführt.



► **Abb. 3** 65-jährige Patientin mit einer varisch impaktierten 3-Part-Humeruskopffraktur mit Headsplit-Komponente (a, b), versorgt mit einer Doppelplattenosteosynthese (c, d). In 13 Fällen wurde von 2014 bis 2017 eine Doppelplattenosteosynthese durchgeführt.

39,9% 3-Part-Frakturen sowie bei 20,3% der Fälle 4-Part-Frakturen [27]. Hierbei handelt es sich um Daten, die in einem überregionalen Traumazentrum mit dem Schwerpunkt Schulterchirurgie erhoben wurden. In unserem Datensatz von 2014 bis 2017 fand sich in einem vergleichbaren Patientenkollektiv ($n = 566$ und $n = 589$) eine Abnahme der 2-Part-Frakturen auf 8,6% bei nahezu gleichbleibender Anzahl an 3-Part-Frakturen (36,8%) sowie eine Zunahme der 4-Part-Frakturen auf 30%. In Zusammenschau der beiden Studienkollektive dieser Arbeit und der vorliegenden Literatur fin-

det man in einem Zeitraum von einer Dekade eine Zunahme der Frakturkomplexität. Als komplexe Fraktursituation definieren Schliemann et al. eben diese 3- und 4-Part-Frakturen [32].

Als mögliche Faktoren für eine Zunahme der Komplexität könnten der demografische Wandel und die damit einhergehenden Faktoren wie eine zunehmende Inzidenz an Osteoporose und weiteren Begleiterkrankungen infrage kommen [33]. In unserem Patientenkollektiv fanden wir eine Zunahme der anamnestisch er-



Gruppe 1							
Fraktur	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Luxation	Trümmer	Tub. Majus
Geschlecht, Alter							
Männer <60	10	29	15	3	5	2	14
Frauen <60	11	30	15	5	0	2	15
Männer >60	9	33	11	10	6	3	11
Frauen >60	49	134	74	24	17	11	16
Gruppe 2							
Geschlecht, Alter	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Luxation	Trümmer	Tub. Majus
Männer <60	5	20	14	6	5	1	23
Frauen <60	6	30	25	8	3	0	9
Männer >60	11	38	18	11	2	1	5
b Frauen >60	29	130	121	25	16	4	26

► **Abb. 4 a, b** Darstellung von Frakturkomplexität, Alter und Geschlecht. Es ist eine Korrelation zwischen zunehmender Frakturschwere, Alter und dem weiblichen Geschlecht erkennbar.

hobenen Osteoporose von 13,1% in Gruppe 1 zu 20,7% in Gruppe 2.

Weiter zeigte das Patientenkollektiv von 2014 bis 2017 eine Zunahme der Anzahl an Nebenerkrankungen mit zunehmender Frakturkomplexität. Außerdem ist in unserem Patientenkollektiv bei zunehmender Frakturkomplexität, neben dem erhöhten Alter, prädominant das weibliche Geschlecht vorliegend (► **Abb. 4**).

Dies deckt sich mit der Beobachtung von Bahrs et al., die eine signifikante Korrelation zwischen einem niedrigerenergetischen

Trauma, dem weiblichen Geschlecht, einem Alter über 60 Jahre und einer Präsenz von mehr als einer Nebenerkrankung feststellte [33].

Insgesamt ist das Patientenkollektiv größtenteils weiblich, wobei der Anteil an männlichen Patienten mit einer PHF zunimmt. 1970 lag das Verhältnis von weiblichen zu männlichen Patienten bei 3,6:1 [3], 2010 noch bei 2,43:1 [31]. In beiden Patientenkollektiven findet sich in unserer Studie ein Verhältnis von 2,3:1, womit trotz Dominanz des weiblichen Geschlechtes der männliche

Anteil zunimmt. Als geschlechterunabhängige Risikofaktoren für eine PHF gelten [34, 35]:

- verminderte Knochendichte am Oberschenkelhals
- Sturzneigung
- Abnahme der Körpergröße (insbesondere bei Frauen)
- verminderte Kalziumzufuhr (insbesondere bei Männern)

Aufgrund des demografischen Wandels könnte man hier ein Angleichen beider Geschlechter annehmen. Dies deckt sich mit der epidemiologischen Auswertung von Court-Brown et al., die eine altersabhängige, geschlechterunabhängige Zunahme von proximalen Humerusfrakturen beobachten [35]. Nichtsdestotrotz zeigen Court-Brown et al. eine nahezu doppelte Inzidenz bei Frauen in der Patientengruppe über 80 Jahre [35].

Bezogen auf die Versorgungsstrategie findet sich in unserem Studienzentrum eine Zunahme der winkelstabilen Plattenosteosynthese und inversen Prothese bei Abnahme des konservativen Vorgehens, der Nagelosteosynthese und der anatomischen Prothese.

Die Abnahme an 2-Part-Frakturen von 14 auf 8,6% bei gleichzeitiger Zunahme der Frakturkomplexität (3- und 4-Part-Frakturen) stellt eine mögliche Ursache dar. Als Limitation muss man hier einerseits sicherlich die überregionale Schulterexpertise des Studienzentrums und die dementsprechend gezielten Zuweisungen komplexer Fälle betrachten, andererseits werden, ausgehend von dem in ► **Tab. 1** dargestellten Therapiealgorithmus, lediglich subkapitale 2-Part-Frakturen mit einer Nagelosteosynthese versorgt. Anders verhält es sich bei der inversen Schulterprothetik. Hier ist die Zunahme vergleichbar mit der aktuellen Literatur [4, 9, 36]. Sumrein et al. zeigten in ihrer schwedischen Registerstudie, bei der 98 770 proximale Humerusfrakturen eingeschlossen wurden, eine Zunahme der winkelstabilen Plattenosteosynthese und inversen Schulterprothese bei Abnahme der Nagelosteosynthese [36].

Dies deckt sich mit der Registerstudie von Sabesan et al., bei der Daten aus dem US-amerikanischen Patientenentlassungsregister, dem „national in-patient samples“, von 2004 bis 2012 ausgewertet wurden [9]. Ebenfalls wurde eine Zunahme der inversen Schulterprothese sowie der winkelstabilen Plattenosteosynthese beobachtet. Sebasan et al. gehen hier noch einen Schritt weiter und berichten in einem mathematischen Regressionsmodell von einer Zunahme der inversen Prothese von 2012 bis 2032 um 100% [9]. Mögliche Ursachen sind [10, 26, 37, 38]:

- bei zunehmender Osteoporoseinzidenz eine Zunahme nicht rekonstruierbarer PHFs,
- bei demografiebedingter Entwicklung des Patientenalters eine Zunahme funktionell insuffizienter Rotatorenmanschetten und hierdurch bedingte Vorteile gegenüber der anatomischen Schulterprothese,
- Überlegenheit in funktionellen Outcomes, Revisionsraten und Kosteneffizienz im Vergleich zur anatomischen Schulterprothese sowie
- aufgrund der o. g. Innovationen eine Zunahme der Standhaltung der inversen Schulterprothese und hierdurch bedingt ein Trend zu indikationsabhängigen, altersunabhängigen Anwendung.

► **Abb. 5** setzt die gewählte Therapiestrategie in das Verhältnis mit dem Alter.

Eine Innovation der letzten Jahre, die auch in unserem Kollektiv eine vermehrte Anwendung findet, ist die Tubercularefixation. Die additive Zuggurtung der Tubercula ist hier von Gruppe 1 zu Gruppe 2 um 21% gestiegen. Dies deckt sich zeitgleich mit den Studien und Empfehlungen von Anakwenze et al., dessen Arbeitsgruppe eine Verbesserung der hohen Außenrotation bei anatomischer Refixation der Tubercula von 24 zu 15° zeigte [39]. Diese hohe Außenrotation ist unabdingbar für Aktivitäten des täglichen Lebens [37]. Knierzinger et al. konnten in einer biomechanischen Kadaverstudie Vorteile im Load-to-Failure für titanlegierte 1-mm-Drahtcerclage-Systeme gegenüber nicht resorbierbarem Fadenmaterial zeigen (1414 ± 372 Zyklen zu 1257 ± 230 Zyklen) [40]. Im eigenen Vorgehen wurden gewundene mehrsträngige 1,3-mm-Drahtcerclagen verwendet [10]. Für eine optimierte Refixation wurden in den vergangenen Jahren Prothesenmodelle mit erweiterten Refixationsmöglichkeiten der Tubercula entwickelt. Hierdurch kann ein stabiler „geschlossener Rahmen“ zwischen Tuberculum majus und minus geschaffen werden (► **Abb. 6**) [10].

In verschiedenen Versagensanalysen bezogen auf die winkelstabile Plattenosteosynthese variieren die Komplikationsraten von 9,2 bis 44% [41, 42]. Barlow et al. zeigten einen Zusammenhang zwischen Anzahl der Fraktursegmente und der jeweiligen Komplikationsrate (2-Part-: 26%, 3-Part-: 39%, 4-Part-Fraktur: 45%) und schlussfolgerten die Notwendigkeit von weiteren Innovationen bei Fixationstechniken bezogen auf die winkelstabile Plattenosteosynthese [42].

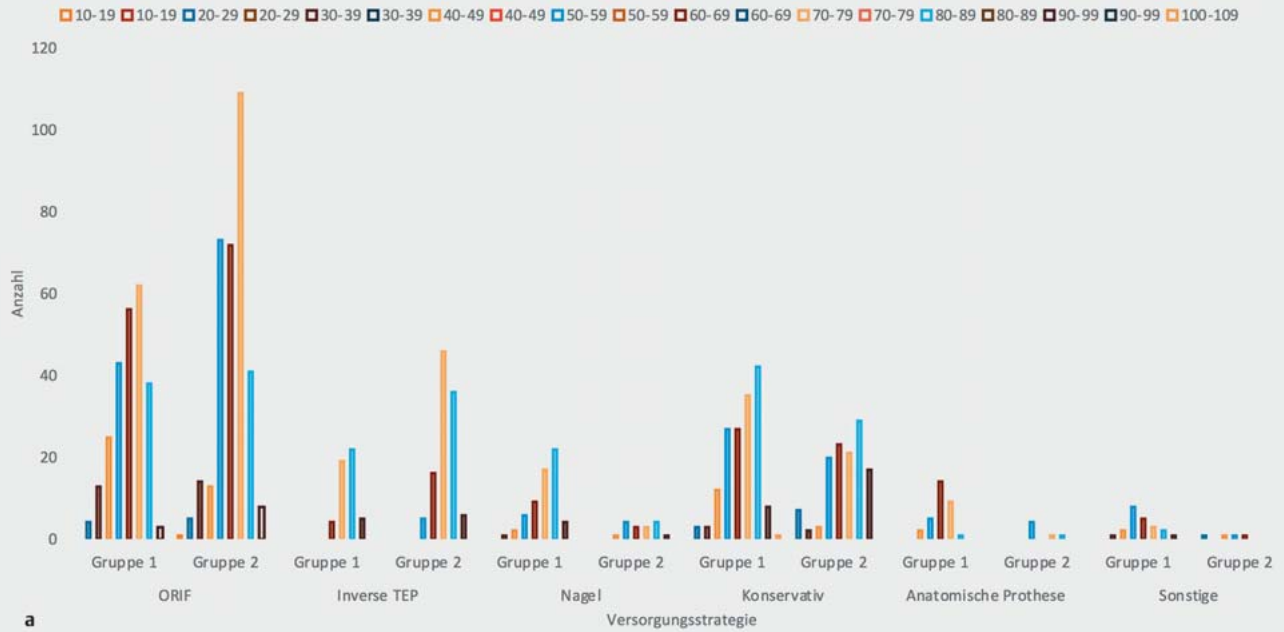
In unserem Patientenkollektiv hat die winkelstabile Plattenosteosynthese zwischen den Zeiträumen 2009 bis 2012 und 2014 bis 2017 von 246 auf 336 zugenommen (43,2 auf 56,7%).

An Innovationen für die proximale Humerusfraktur zeigten sich in den letzten Jahren vor allem [10, 11]:

- polyaxiale Schraubensysteme [12, 13]
- zementaugmentierte Schrauben [14–17, 43]
- carbonfaserverstärkte Platten aus dem Kunststoff PEEK [18–20, 44, 45]
- Doppelplattenosteosynthese bei komplexen 4-Part-Frakturen [21, 22, 46]

In unserem Patientenkollektiv von 2014 bis 2017 wurde in 121 Fällen (39,4%) eine Zementaugmentation der kopfverankerten Schrauben durchgeführt. In verschiedenen biomechanischen Studien konnte bereits eine Überlegenheit bez. der Load-to-Failure in axialer Rotation und im „varus bending“ gezeigt werden [14, 15].

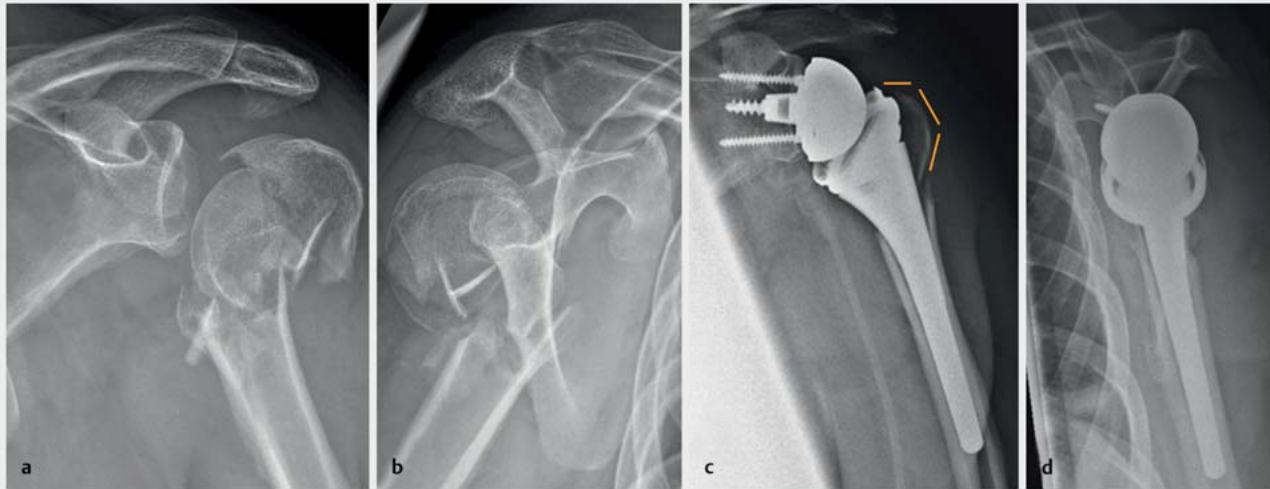
In 29 Fällen der Plattenosteosynthese wurde statt der konventionellen carbonbasierenden Titanplatte eine PEEK-Platte verwendet. Die 1. Generation der PEEK-Platte (Arthrex, Naples, USA) zeigte zwar durch eine reduzierte Steifheit im Vergleich zur konventionellen Titanplatte eine dem humanen Knochen vergleichbare Elastizität, allerdings ein gleichzeitiges Materialversagen im maximalen Load-to-Failure in der biomechanischen Testung [18]. In jüngster Zeit wurde das Plattendesign für die PEEK-Platte (2. Generation, Arthrex, Naples, USA) im Sinne der Plattenstärke und der Angulation der Humeruskopfschrauben verändert. Biomechanische Studien hierzu stehen nach bestem Wissen der Autoren dieser Arbeit noch aus. Klinisch konnten Ziegler et al. in



a

Gruppe 1										
Alter Therapie	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109
ORIF	0	4	13	25	43	56	62	38	3	0
Inverse TEP	0	0	0	0	0	4	19	22	5	0
Anatomische Prothese	0	0	0	2	5	14	9	1	0	0
Nagel	0	0	1	2	6	9	17	22	4	0
Konservativ	0	3	3	12	27	27	35	42	8	1
Sonstige	0	0	1	2	8	5	3	2	1	0
Gruppe 2										
Therapiemethode	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109
ORIF	1	5	14	13	73	72	109	41	8	0
Inverse TEP	0	0	0	0	5	16	46	36	6	0
Anatomische Prothese	0	0	0	0	4	0	1	1	0	0
Nagel	0	0	0	1	4	3	3	4	1	0
Konservativ	0	7	2	3	20	23	21	29	17	0
b Sonstige	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0

► **Abb. 5 a, b** Darstellung der ausgewählten Therapiestrategie im Verhältnis zum jeweiligen Patientenalter. Es zeigt sich eine altersabhängige Zunahme der konservativen Therapie sowie der inversen Prothese.



► **Abb. 6** 49-jähriger Patient mit einer mehrfragmentären, nicht rekonstruierbaren 4-Part-Humeruskopffraktur (a, b). Implantation einer inversen Schulterprothese mit einem Inklinationwinkel von 135° und Refixation der Tubercula, in diesem Fall mittels Fadencerclage. Zunahme der Tubercularerfixation von 35% in Gruppe 1 auf 56% in Gruppe 2.

einer prospektiv randomisierten Studie nach 3 und 6 Monaten (vergleichbar mit der 1. Generation) keinen signifikanten Unterschied zu den konventionellen Titanplatten erkennen [19].

In komplexen Frakturen verschiedener Lokalisationen an der oberen Extremität wird eine additive 2. Plattenosteosynthese (DPO) beschrieben [21,22,46]. Biomechanisch zeigen sich im Vergleich zu einer konventionellen winkelstabilen Plattenosteosynthese bez. der Torsionskräfte Nachteile im „axialen und extra-axialen Bending“. Insbesondere bei Frakturen mit Beteiligung des Tuberculum minus, ohne mediale Abstützung, und einer metaphysären Trümmerzone werden mögliche Vorteile gesehen [24]. In unserer Studie wurde in 13 Fällen diese Technik angewendet und dabei die additive Drittelrohrpatte medial des Sulcus bicipitalis im Bereich des Tuberculum minus positioniert.

Limitationen

Als Limitation ist in beiden Zeiträumen sicherlich die Anzahl an Zuweisungen bei einem überregionalen Level-1-Traumazentrum mit Zulassung des berufsgenossenschaftlichen Schwerverletzungsartenverfahrens (SAV) und schulter- sowie ellenbogenchirurgischen Schwerpunkt zu sehen. Hierdurch bedingt erfolgen naturgemäß Zuweisungen der SAV Ziffer 7.5 mit komplexer Fraktursituation und ggf. begleitenden Gefäß-Nerven- und schweren Weichteilverletzungen.

Zusätzlich kann man jeweils annehmen, dass einfache, gering dislozierte Frakturmuster gänzlich von niedergelassenen Kollegen konservativ behandelt und hierdurch nicht in dieser Studie betrachtet werden. Zusammen mit dem in ► **Tab. 1** dargestellten Therapiealgorithmus, wodurch lediglich bei Frakturen mit Ad-latus-Dislokation von max. 0,5 cm und/oder einer Humeruskopf-an-gulation von weniger als 20° ein konservatives Heilverfahren

eingeleitet wurde, ist somit der Anteil der konservativen Heilbehandlungen geringer als in den o. g. Registerstudien [9].

Insgesamt handelt es sich bei dieser Studie um eine rein epidemiologische Datenauswertung, die als Vorarbeit zu einer weiterführenden Versagensanalyse zu sehen ist.

Schlussfolgerung

Bei gleicher Beobachtungsdauer zeigt sich in einem spezialisierten Schulterzentrum von 2009 bis 2012 auf 2014 bis 2017 neben einer Zunahme der operativ behandelten Frakturen eine Steigerung der Komplexität der versorgten Verletzungen. Zudem findet sich eine Zunahme an Osteoporose sowie eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen.

Als Folge der zunehmenden Komplexität wurden neben neuen Implantaten (PEEK, fenestrierte Schrauben zur Zementaugmenta-tion) neue operative Techniken entwickelt (DPO). Als Konsequenz der zunehmenden Komplexität und der zunehmenden Osteopo-rosefälle zeigt sich eine Zunahme der inversen Schulterprothetik bei proximalen Humerusfrakturen. Ob sich durch eine Weiterentwicklung und Anpassung der Implantate in den letzten Jahren eine Verbesserung bei der Versorgungsqualität ableiten lässt, ist durch weiterführende Arbeiten zu prüfen.

Interessenkonflikt

Helmut Lill ist als Berater sowie Referent für die Firma Arthrex sowie als Referent für die Firma DePuy Synthes tätig. Rony-Orijit Dey Hazra, Robert Maximilian Blach, Alexander Ellwein, Jan Christoph Katthagen und Gunnar Jensen geben an, dass im Zusammenhang zu diesem Artikel, kein Interessenskonflikt vorliegt.

Literatur

- [1] Court-Brown CM, Clement ND, Duckworth AD et al. The changing epidemiology of fall-related fractures in adults. *Injury* 2017; 48: 819–824. doi:10.1016/j.injury.2017.02.021
- [2] Passaretti D, Candela V, Sessa P et al. Epidemiology of proximal humeral fractures: a detailed survey of 711 patients in a metropolitan area. *J Shoulder Elbow Surg* 2017; 26: 2117–2124. doi:10.1016/j.jse.2017.05.029
- [3] Palvanen M, Kannus P, Niemi S et al. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2006; 442: 87–92. doi:10.1097/01.blo.0000194672.79634.78
- [4] Klug A, Gramlich Y, Wincheringer D et al. Trends in surgical management of proximal humeral fractures in adults: a nationwide study of records in Germany from 2007 to 2016. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019; 139: 1713–1721. doi:10.1007/s00402-019-03252-1
- [5] Jo YH, Lee KH, Lee BG. Surgical trends in elderly patients with proximal humeral fractures in South Korea: a population-based study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20: 136. doi:10.1186/s12891-019-2515-2
- [6] Rikli D, Feissli S, Müller AM et al. High rate of maintaining self-dependence and low complication rate with a new treatment algorithm for proximal humeral fractures in the elderly population. *J Shoulder Elbow Surg* 2020; 29: 1127–1135. doi:10.1016/j.jse.2019.11.006
- [7] Handoll H, Brealey S, Torgerson D et al. The ProFHER (PROximal Fracture of the Humerus: Evaluation by Randomisation) trial – a pragmatic multicentre randomised controlled trial evaluating the clinical effectiveness and cost-effectiveness of surgical compared with non-surgical treatment for proximal fracture of the humerus in adults. *Health Technol Assessment* 2015; 19: 1–280. doi:10.3310/hta19240
- [8] Launonen AP, Sumrein BO, Reito A et al. Operative versus non-operative treatment for 2-part proximal humerus fracture: A multicenter randomized controlled trial. *PLoS Med* 2019; 16: e1002855. doi:10.1371/journal.pmed.1002855
- [9] Sabesan VJ, Lombardo D, Petersen-Fitts G et al. National trends in proximal humerus fracture treatment patterns. *Aging Clin Exp Res* 2017; 29: 1277–1283. doi:10.1007/s40520-016-0695-2
- [10] Katthagen J, Dey Hazra R-O, Raschke MJ et al. Innovationen bei der Behandlung der proximalen Humerusfraktur. *Arthroskopie* 2019; 32: 28–39. doi:10.1007/s00142-018-0243-5
- [11] Warnhoff M, Lill H, Jensen G et al. Proximale Humerusfraktur – was sagt die aktuelle Literatur? *Obere Extrem* 2019; 14: 9–17. doi:10.1007/s11678-018-0496-7
- [12] Königshausen M, Kübler L, Godry H et al. Clinical outcome and complications using a polyaxial locking plate in the treatment of displaced proximal humerus fractures. A reliable system? *Injury* 2012; 43: 223–231. doi:10.1016/j.injury.2011.09.024
- [13] Ockert B, Braunstein V, Kirchhoff C et al. Monoaxial versus polyaxial screw insertion in angular stable plate fixation of proximal humeral fractures: radiographic analysis of a prospective randomized study. *J Trauma* 2010; 69: 1545–1551. doi:10.1097/TA.0b013e3181c9b8a7
- [14] Röderer G, Scola A, Schmölz W et al. Biomechanical in vitro assessment of screw augmentation in locked plating of proximal humerus fractures. *Injury* 2013; 44: 1327–1332. doi:10.1016/j.injury.2013.05.008
- [15] Unger S, Erhart S, Krallinger F et al. The effect of in situ augmentation on implant anchorage in proximal humeral head fractures. *Injury* 2012; 43: 1759–1763. doi:10.1016/j.injury.2012.07.003
- [16] Hengg C, Nijs S, Klopfer T et al. Cement augmentation of the proximal humerus internal locking system in elderly patients: a multicenter randomized controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019; 139: 927–942. doi:10.1007/s00402-019-03142-6
- [17] Helfen T, Siebenbürger G, Fleischhacker E et al. Operative treatment of 2-part surgical neck type fractures of the proximal humerus in the elderly: Cement augmented locking plate PHILOS™ vs. proximal humerus nail multiloc®. *Injury* 2020; 51: 2245–2252. doi:10.1016/j.injury.2020.06.026
- [18] Katthagen JC, Schwarze M, Warnhoff M et al. Influence of plate material and screw design on stiffness and ultimate load of locked plating in osteoporotic proximal humeral fractures. *Injury* 2016; 47: 617–624. doi:10.1016/j.injury.2016.01.004
- [19] Ziegler P, Maier S, Stöckle U et al. The Treatment of Proximal Humerus Fracture Using Internal Fixation with Fixed-angle Plates. *Dtsch Arztebl Int* 2019; 116: 757–763. doi:10.3238/arztebl.2019.0757
- [20] Schliemann B, Seifert R, Theisen C et al. PEEK versus titanium locking plates for proximal humerus fracture fixation: a comparative biomechanical study in two- and three-part fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017; 137: 63–71. doi:10.1007/s00402-016-2620-8
- [21] Theopold J, Schleifenbaum S, Müller M et al. Biomechanical evaluation of hybrid double plate osteosynthesis using a locking plate and an inverted third tubular plate for the treatment of proximal humeral fractures. *PLoS One* 2018; 13: e0206349. doi:10.1371/journal.pone.0206349
- [22] Theopold J, Marquath B, Fakler J et al. The bicipital groove as a landmark for reconstruction of complex proximal humeral fractures with hybrid double plate osteosynthesis. *BMC Surg* 2016; 16: 10. doi:10.1186/s12893-016-0125-6
- [23] Michel PA, Katthagen JC, Heilmann LF et al. Biomechanics of Upper Extremity Double Plating. *Z Orthop Unfall* 2020; 158: 238–244. doi:10.1055/a-0862-6334
- [24] Katthagen JC, Schliemann B, Michel PA et al. Clinical Application and Outcomes of Upper Extremity Double Plating. *Z Orthop Unfall* 2020; 158: 227–237. doi:10.1055/a-0862-1070
- [25] Lopiz Y, Alcobia-Díaz B, Galán-Olleros M et al. Reverse shoulder arthroplasty versus nonoperative treatment for 3- or 4-part proximal humeral fractures in elderly patients: a prospective randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg* 2019; 28: 2259–2271. doi:10.1016/j.jse.2019.06.024
- [26] Sebastián-Forcada E, Cebrián-Gómez R, Lizaur-Utrilla A et al. Reverse shoulder arthroplasty versus hemiarthroplasty for acute proximal humeral fractures. A blinded, randomized, controlled, prospective study. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23: 1419–1426. doi:10.1016/j.jse.2014.06.035
- [27] Katthagen JC, Grabowski S, Huber M et al. Epidemiologie und Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen an einem spezialisierten Level-1 Traumazentrum. *Obere Extrem* 2016; 11: 112–118. Im Internet: <https://doi.org/doi:10.1007/s11678-016-0362-4>
- [28] Resch H, Tauber M, Neviasser RJ et al. Classification of proximal humeral fractures based on a pathomorphologic analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2016; 25: 455–462. doi:10.1016/j.jse.2015.08.006
- [29] Codman EA. *The Shoulder. Rupture of the Supraspinatus Tendon and other Lesions in or about the subacromial Bursa.* Boston: Thomas Todd; 1934: 313–331
- [30] Bergdahl C, Ekholm C, Wennergren D et al. Epidemiology and patho-anatomical pattern of 2,011 humeral fractures: data from the Swedish Fracture Register. *BMC Musculoskelet Disord* 2016; 17: 159. doi:10.1186/s12891-016-1009-8
- [31] Launonen AP, Lepola V, Saranko A et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *Arch Osteoporos* 2015; 10: 209. doi:10.1007/s11657-015-0209-4
- [32] Schliemann B, Siemoneit J, Theisen C et al. Complex fractures of the proximal humerus in the elderly—outcome and complications after locking plate fixation. *Musculoskelet Surg* 2012; 96 (Suppl. 1): S3–S11. doi:10.1007/s12306-012-0181-8
- [33] Bahrs C, Stojicevic T, Blumenstock G et al. Trends in epidemiology and patho-anatomical pattern of proximal humeral fractures. *Int Orthop* 2014; 38: 1697–1704. doi:10.1007/s00264-014-2362-6
- [34] Nguyen TV, Center JR, Sambrook PN et al. Risk factors for proximal humerus, forearm, and wrist fractures in elderly men and women: the Dub-

- bo Osteoporosis Epidemiology Study. *Am J Epidemiol* 2001; 153: 587–595. doi:10.1093/aje/153.6.587
- [35] Court-Brown CM, McQueen MM. Global Forum: Fractures in the Elderly. *J Bone Joint Surg Am Vol* 2016; 98: e36. doi:10.2106/JBJS.15.00793
- [36] Sumrein BO, Huttunen TT, Launonen AP et al. Proximal humeral fractures in Sweden—a registry-based study. *Osteoporos Int* 2017; 28: 901–907. doi:10.1007/s00198-016-3808-z
- [37] Erdle B, Izadpanah K, Eberbach H et al. [Primary fracture prostheses and reverse shoulder arthroplasty in complex humeral head fractures: An alternative to joint-preserving osteosynthesis?] *Orthopade* 2018; 47: 410–419. doi:10.1007/s00132-018-3570-3
- [38] Osterhoff G, O'Hara NN, D'Cruz J et al. A Cost-Effectiveness Analysis of Reverse Total Shoulder Arthroplasty versus Hemiarthroplasty for the Management of Complex Proximal Humeral Fractures in the Elderly. *Value Health* 2017; 20: 404–411. doi:10.1016/j.jval.2016.10.017
- [39] Anakwenze OA, Zoller S, Ahmad CS et al. Reverse shoulder arthroplasty for acute proximal humerus fractures: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23: e73–e80. doi:10.1016/j.jse.2013.09.012
- [40] Knierzinger D, Heinrichs CH, Hengg C et al. Biomechanical evaluation of cable and suture cerclages for tuberosity reattachment in a 4-part proximal humeral fracture model treated with reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 2018; 27: 1816–1823. doi:10.1016/j.jse.2018.04.003
- [41] Katthagen JC, Huber M, Grabowski S et al. Failure and revision rates of proximal humeral fracture treatment with the use of a standardized treatment algorithm at a level-1 trauma center. *J Orthop Traumatol* 2017; 18: 265–274. doi:10.1007/s10195-017-0457-8
- [42] Barlow JD, Torchia ME, Sanchez-Sotelo J et al. Locking-plate fixation of proximal humerus fractures in patients over 60 continues to be associated with a high complication rate. *J Shoulder Elbow Surg* 2019; 28: e213
- [43] Katthagen JC, Lutz O, Voigt C et al. Cement augmentation of humeral head screws reduces early implant-related complications after locked plating of proximal humeral fractures. *Obere Extremität* 2018; 13: 123–129. doi:10.1007/s11678-018-0440-x
- [44] Katthagen JC, Ellwein A, Lutz O et al. Outcomes of proximal humeral fracture fixation with locked CFR-PEEK plating. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2017; 27: 351–358. doi:10.1007/s00590-016-1891-7
- [45] Padolino A, Porcellini G, Guollo B et al. Comparison of CFR-PEEK and conventional titanium locking plates for proximal humeral fractures: a retrospective controlled study of patient outcomes. *Musculoskelet Surg* 2018; 102 (Suppl. 1): S49–S56. doi:10.1007/s12306-018-0562-8
- [46] Laux CJ, Grubhofer F, Werner CML et al. Current concepts in locking plate fixation of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res* 2017; 12: 137. doi:10.1186/s13018-017-0639-3



Latest Trends in the Current Treatment of Proximal Humeral Fractures – an Analysis of 1162 Cases at a Level-1 Trauma Centre with a Special Focus on Shoulder Surgery

Aktuelle Entwicklungen der Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen – eine Auswertung von 1162 Fällen an einem Level-1-Traumazentrum mit schulterchirurgischem Schwerpunkt

Authors

Rony-Orijit Dey Hazra¹ , Robert Maximilian Blach¹, Alexander Ellwein², Jan Christoph Katthagen³, Helmut Lill¹, Gunnar Jensen¹

Affiliations

- 1 Orthopaedic and Trauma Clinic, DIAKOVERE Friederikenstift, Hanover, Germany
- 2 Orthopaedic Clinic, Medical School Hanover (MHH), DIAKOVERE Annastift, Hanover, Germany
- 3 Trauma, Hand and Reconstructive Surgery, Westphalian Wilhelm's University of Munster, Medical Faculty, Munster, Germany

Key words

proximal humerus fracture, reverse shoulder arthroplasty, osteoporosis, CFR-PEEK plate osteosynthesis, dual plate fixation

Schlüsselwörter

proximale Humerusfraktur, inverse Schulterprothese, Osteoporose, PEEK-Plattenosteosynthese, Doppelpplattenosteosynthese

published online

Bibliography

Z Orthop Unfall 2021

DOI 10.1055/a-1333-3951

ISSN 1864-6697

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Correspondence

Dr. med. Rony-Orijit Dey Hazra
Orthopaedic and Trauma Clinic, DIAKOVERE Friederikenstift
Humboldtstraße 5, 30169 Hannover, Germany
Phone: 05 11/1 29-23 31, Fax: 05 11/1 29-0
Rony-Orijit.Deyhazra@diakovere.de

ABSTRACT

Background The management of proximal humeral fracture (PHF) is not only complex but ever changing. Published epidemiological data are often dated and do not factor in demographic changes or the latest developments in implant material and surgical techniques.

Aims The primary aim of this study was to evaluate changes in the epidemiology and actual treatment of PHF at a level-1 trauma centre, with a special focus on shoulder surgery.

Hypotheses 1. Between 2009 to 2012 and 2014 to 2017, an increase in complex PHF entities can be observed. 2. In correlation with fracture complexity, an increasing number of comorbidities, especially osteoporosis, can be observed.

Methods Between 2014 and 2017, a total of 589 patients (73% female; mean age: 68.96 ± 14.9 years) with 593 PHFs were treated. Patient records and imaging (XRs and CTs) of all patients were analysed. Fractures with ad latus displacement of a maximum of 0,5 cm and/or humeral head angulation of less than 20° were classified as non-displaced. Patients with displaced fractures were included in the analysis of the therapeutic algorithm. These results were compared to those of a cohort 2009 to 2012 (566 patients, 569 PHFs), which used the same inclusion criteria.

Results The two cohorts showed comparable patient numbers, as well as gender and age distributions. Between 2009 to 2012 and 2014 to 2017, a decrease in 2-part fractures (13.9 to 8.6%) and a simultaneous increase in 4-part fractures (20.4 to 30%), and thus fracture complexity was observed. Further decreases were observed in conservative therapy (27.8 to 20.6%), nail osteosynthesis (10.7 to 2.7%) and anatomic shoulder arthroplasty (5,4 to 1%). Furthermore, there was an increase in the use of locking plate osteosynthesis (43.2 to 56.7%) and reverse shoulder arthroplasty (9 to 18.4%). The general trend shows an increase in surgical therapy between the years (72.2 to 79.4%), as well as an increase in osteoporosis incidence (13 to 20.6%). The greatest numbers of comorbidities were found in 3- and 4-part fractures.

Conclusion There is an increase in both the complexity of fractures and the number of surgically treated fractures be-

tween 2009 and 2012. Furthermore, an increase in osteoporosis numbers can be observed. New implants (PEEK, fenestrated screws for cement augmentation) and new surgical techniques (double plating osteosynthesis) were used as a result of increasing fracture complexity. Moreover, reverse total shoulder arthroplasty was used more commonly.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die Versorgung der proximalen Humerusfraktur (PHF) ist komplex und verändert sich aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse dynamisch. Häufig werden in epidemiologischen Studien Daten präsentiert, die den demografischen Wandel und aktuelle Entwicklungen bei Implantatmaterial und Operationstechniken nicht miteinbeziehen. Das primäre Ziel dieser Studie war es, die Epidemiologie und Versorgungsrealität der PHF an einem Level-1-Traumazentrum mit schulterchirurgischem Schwerpunkt und die Veränderungen im Laufe eines Jahrzehnts zu evaluieren.

Hypothesen 1. Zwischen den Zeiträumen von 2009 bis 2012 und 2014 bis 2017 zeigt sich eine Zunahme der Frakturkomplexität 2. In Korrelation mit der Komplexität steht die Anzahl an Nebenerkrankungen sowie die Häufigkeit der Osteoporose.

Material und Methoden Von 2014 bis 2017 wurden 589 Patienten (73% weiblich; Durchschnittsalter $68,96 \pm 14,9$ Jahre) mit insgesamt 593 PHFs in diese retrospektive Studie eingeschlossen. Die Patientenakten, Röntgenbilder und CT-Untersuchungen aller Patienten wurden analysiert. Frakturen mit Ad-latus-Dislokation von $<0,5$ cm und/oder einer Humeruskopfangulation von $<20^\circ$ wurden als undisloziert klassifiziert. Patienten mit dislozierten Frakturen wurden in einen operativen Therapiealgorithmus eingeschlossen. Diese Ergebnisse wurden mit denen einer Kohorte von 2009 bis 2012

($n = 566$) verglichen, die zu damaliger Zeit unter gleichen Kriterien eingeschlossen wurde.

Ergebnisse Im entsprechenden Beobachtungszeitraum bestand ein vergleichbares Patientenkollektiv bez. Anzahl, Geschlechterverteilung und Alter. Dabei zeigte sich von 2009 bis 2012 im Vergleich zu 2014 bis 2017 eine Zunahme der 4-Part-Frakturen (20,4 zu 30%) bei gleichzeitiger Abnahme der 2-Part-Frakturen (13,9 zu 8,6%). In den Versorgungstechniken war bei Abnahme der konservativen Behandlung (27,8 zu 20,6%), der Nagelosteosynthese (10,7 zu 2,7%) und der anatomischen Prothese (5,4 zu 1%) eine gleichzeitige Zunahme der winkelstabilen Plattenosteosynthese (43,2 zu 56,7%) und der inversen Schulterprothese (9 zu 18,4%) erkennbar. Insgesamt konnte von 2009 bis 2012 zu 2014 bis 2017 eine Zunahme der operativen Versorgung (72,2 zu 79,4%) festgestellt werden. Es zeigte sich im zeitlichen Verlauf eine Zunahme der vorbekannten Osteoporoseinzidenz (13 zu 20,6%) sowie eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen.

Schlussfolgerung Bei gleicher Beobachtungsdauer zeigt sich in einem spezialisierten Schulterzentrum von 2009 bis 2012 auf 2014 bis 2017 neben einer Zunahme der operativ behandelten Frakturen eine Steigerung der Komplexität der versorgten Verletzungen. Zudem kann man eine Zunahme an Osteoporose sowie eine Häufung an Nebenerkrankungen bei 3- und 4-Part-Frakturen beobachten. Als Folge der zunehmenden Komplexität wurden neben neuen Implantaten (PEEK, fenestrierte Schrauben zur Zementaugmentation) neue operative Techniken entwickelt (DPO). Als Konsequenz der zunehmenden Komplexität und der gesteigerten Osteoporosehäufigkeit zeigt sich eine Zunahme der inversen Schulterprothetik bei proximalen Humerusfrakturen.

Introduction

Due to the ageing populace and the resulting demographic shift, proximal humerus fractures now show the third-highest incidence among gerontological fractures [1]. With a frequency level that has now reached 4–5% of all fractures in adults, the proximal humerus fracture (PHF) remains a focus of current research [2]. Increased frequency of this fracture type is expected in view of the increased incidence of osteoporosis [3].

These developments are reflected in a constant stream of new implant materials, surgical techniques and medical approaches, dynamics which are not covered by the majority of published epidemiological data. Recent years have revealed a trend towards generating these epidemiological data using central databases [4, 5]. One advantage of this approach is the large number of patients included, but the drawback this entails is a lack of coverage of the therapeutic techniques employed in specialised shoulder centres.

Despite an increase in publications on conservative approaches to proximal humerus treatment [6–8], the literature continues to describe an upward tendency in surgical therapies [9].

Numerous new trends in techniques and implants have appeared, aimed at improving treatments of complex fractures with osteoporotic aetiology.

The main innovations of recent years are [10, 11]:

- Polyaxial screw systems [12, 13]
- Cement-augmented screw [14–17]
- Carbon fibre-reinforced plates made of the polymer polyetheretherketone (PEEK) [18–20]
- Double plate osteosynthesis in complex 4-part fractures [21–24]

The trend in cases of non-reconstructable proximal humerus fractures in elderly patients is toward primary reverse shoulder arthroplasties or, alternatively, conservative therapy, i.e. nonoperative approach to fracture management [25, 26].

The main innovations in reverse shoulder prostheses in recent years are [10]:

- Variation of the glenohumeral angle of inclination
- Inferior baseplate positioning
- Consistent refixation of the tubercula

► **Table 1** Therapy algorithm from: Katthagen JC, Grabowski S, Huber M et al. [Epidemiology and treatment reality of proximal humeral fractures at a level-1 trauma center]. *Zeitschrift für Obere Extremität* 2016 [27].

Fracture	18–60 years of age	61–70 years of age	> 70 years of age
Tuberculum majus	Plate	Plate	Plate
2-part fracture	Plate	Plate/nail	Plate/nail
3-part fracture	Plate	Plate	Plate
4-part fracture	Reconstruction attempt, otherwise anatomic TSA	Reconstruction attempt, otherwise reverse TSA	Reconstruction attempt, otherwise reverse TSA
Head-split/fragments	Reconstruction attempt, otherwise anatomic TSA	Reverse TSA	Reverse TSA

TSA: total shoulder arthroplasty. Non/minor displaced fractures conservative approach

The aim of this study is to evaluate the changes in epidemiology and the current changes in actual treatments in a supraregional trauma centre and major trauma centre with a focus on shoulder surgery.

Hypotheses:

1. Increased fracture complexity 2009–2012 to 2014–2017
2. Accompanying disease numbers and increase in osteoporosis correlates with this complexity

Methods

The competent local Ethics Committee approved the present retrospective study (No. 8526_BO_K_2019). The period from 2014 to 2017 (42 months/Group 2) was considered and evaluated for epidemiology and changes in therapeutic approaches. The data were compared with those of the period from 2009 to 2012 (42 months/Group 1) to reflect current developments [27].

The exclusion criteria were:

- Patient age < 18 years
- Primary outpatient therapy
- Pathological fracture
- Humerus shaft fracture
- Bony avulsion injuries of the supraspinatus tendon
- Dorsal humerus head dislocation

Fractures with adlatus dislocation of max. 0.5 cm and/or humerus head angulation < 20° were classified as non-dislocated. Conservative therapy was initiated in these cases.

Patient files with patient-specific data such as date of birth, time of traumatic injury occurrence, sex, accompanying diseases and images, e.g. x-rays and CT examinations, were analysed for all patients. All patients underwent preoperative computer tomography, on which basis all fractures were classified by an experienced shoulder specialist acc. to Resch, Neer and Codman's segment theory [28,29]. The analysis is consistent with the data for this study group to date [27].

Therapy algorithm:

All fractures were treated in accordance with the therapy algorithms published to date (► **Table 1**) [27].

Statistical analysis

The statistical analysis was done using Microsoft Excel (Version 16.16.16), Microsoft Office Professional Plus 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA), IBM SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, New York, USA) and GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, San Diego, USA). Following descriptive analysis and the standard distribution Kolmogorow-Smirnow (KS) test, the non-parametric Mann-Whitney-U test (MWU) was used to compare the two patient cohorts statistically. Comparison of the individual groups and subgroups was done using the chi-square test. p values under 0.05 are defined as statistically significant.

Results

Patient cohorts

In the first period from 2009 to 2012 (42 months/Group 1), 566 patients suffered a total of 569 PHFs. Of these, 71.4% were female, with an average patient age of 68.1 ± 15 years (range 23 to 102).

In the second period from 2014 to 2017 (42 months/Group 2), 589 patients suffered a total of 593 PHFs, with an average patient age of 68.96 ± 14.9 years (range 18 to 99). Of these, 73% were female (► **Table 2**). Both groups did not show standard distribution in the KS test, nor did they show a significant difference in age in the MWU (p = 0.334) or in sex in the chi-square test (p = 0.495).

In Group 1, 158 patients (27.8%) received conservative therapy and 411 operative therapy (72.2%). By comparison, 122 patients (20.6%) in Group 2 received conservative therapy and 471 (79.4%) operative therapy.

The statistical analysis using the chi-square test revealed a significant increase in operative therapies in Group 2 (79.4%) compared to Group 1 (72.2%) (p = 0.004).

Fracture morphology

Group 1 included 3-part fractures in 227 cases (39.9%), 4 part fractures in 116 cases (20.4%), 2-part fractures in 79 cases (13.9%), a head-split component in 42 cases (7.4%), a dislocation fracture in 28 cases (4.9%) and a comminuted fracture in 18 cases (3.2%).

Isolated fractures of the tuberculum majus were observed in 56 cases (9.8%).

► **Table 2** Patient collective. All proximal humerus fractures from 01/2009 to 06/2012 were included in Group 1 and those from 06/2014 to 12/2017 in Group 2.

Group 1: 2009–2012	
Patients	n = 566
Age (in years)	68.1 ± 14.9
Men : Women	29 : 71 %
Group 2: 2014–2017	
Patients	n = 589
Age (in years)	68.96 ± 14.9
Men : Women	27 : 73 %

Group 2 included 3-part fractures in 218 cases (36.8%), 4 part fractures in 178 cases (30%), 2-part fractures in 51 cases (8.6%), a head-split component in 50 cases (8.4%), a dislocation fracture in 26 cases (4.4%) and a comminuted fracture in 6 cases (1%).

Isolated fractures of the tuberculum majus were observed in a total of 63 cases (10.6%) in the later patient collective.

The chi-square statistical analysis test revealed a significant difference between Groups 1 and 2 in terms of fracture morphology ($p < 0.001$). The subgroup analysis revealed no significant differences between Groups 1 and 2 for tuberculum majus fractures ($p = 0.660$), 3-part fractures ($p = 0.272$), head-split fractures ($p = 0.507$) and dislocation fractures ($p = 0.664$). In contrast to this, a significant decrease in 2-part fractures ($p = 0.004$) and a significant increase in 4-part fractures ($p = < 0.001$) was observed from Group 1 to Group 2.

Therapeutic strategy

In Group 1, 158 patients (27.8%) received a conservative therapy, 61 patients (10.7%) a nail osteosynthesis, 246 (43.2%) a locking plate osteosynthesis, 31 patients (5.4%) an anatomic shoulder arthroplasty and 51 (9%) a reverse shoulder arthroplasty. A different type of individual therapeutic strategy was pursued in 22 cases (3.9%).

In Group 2, 122 patients (20.6%) received a conservative therapy, 16 patients (2.7%) a nail osteosynthesis, 336 (56.7%) a locking plate osteosynthesis, 6 patients (1%) an anatomic shoulder arthroplasty and 109 (18.4%) a reverse shoulder arthroplasty. A different type of individual therapeutic strategy was pursued in 4 cases (0.7%).

The chi-square test revealed significant differences between the two patient collectives ($p < 0.001$) in terms of the therapeutic approach applied. The subgroup analysis revealed a significant decrease from Group 1 to Group 2 in conservative therapies ($p = 0.004$), anatomic shoulder arthroplasty ($p < 0.001$) and nail osteosynthesis ($p < 0.001$). By contrast, significant increases from Group 1 to Group 2 were determined for locking plate osteosynthesis ($p < 0.001$) and reverse shoulder arthroplasty ($p < 0.001$).

Accompanying diseases

There is a statistically significant increase of osteoporosis in medical histories from Group 1 (74 patient; 13%) to Group 2 (122 patients; 20.6%) ($p = 0.001$).

There is a decrease in accompanying diseases in medical histories from Group 1 to Group 2 in the overall sum from 974 to 846. Both groups also show a concentration of accompanying diseases in cases of 3 and 4-part fractures (► **Fig. 1**).

Implant material

In both periods studied, the implant type used most was locking plate osteosynthesis. This type was used in 246 patients in Group 1 and in 336 patients in Group 2, a statistically significant increase ($p < 0.001$). New therapeutic approaches were used in Group 2. Of the 336 cases, a carbon-based PEEK plate was used in 29 cases (8.6%) instead of the conventional titanium plates. In 121 of the 336 cases (36.0%), the humerus head screws were augmented with bone cement (► **Fig. 2**). In 13 of the 336 cases (3.9%), so-called double plate osteosynthesis (DPO) was used to treat complex fracture morphology as shown in ► **Fig. 3**.

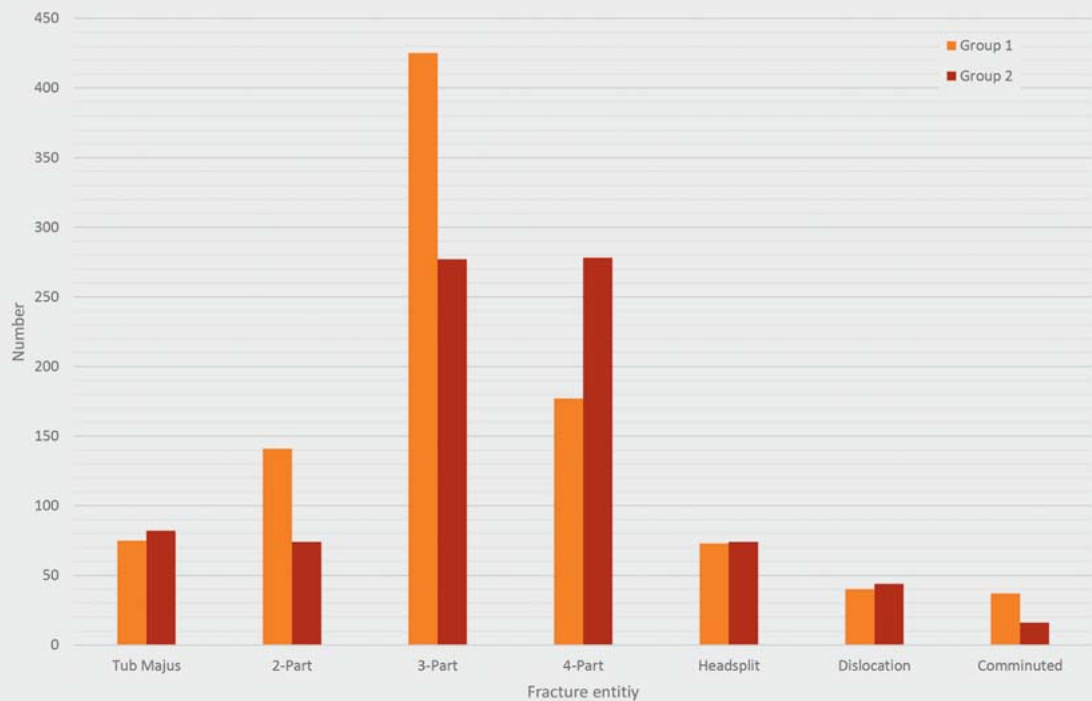
In locking plate osteosynthesis therapies, a significant decrease in additive cerclage (tension band wiring) is observed from Group 1 to Group 2 (46% in Group 1 and 38% in Group 2, $p = 0.041$).

In reverse shoulder arthroplasties, a significant increase in tubercular refixations is observed from Group 1 to Group 2, from 18 (35%) to 61 (56%) patients ($p = 0.015$).

Discussion

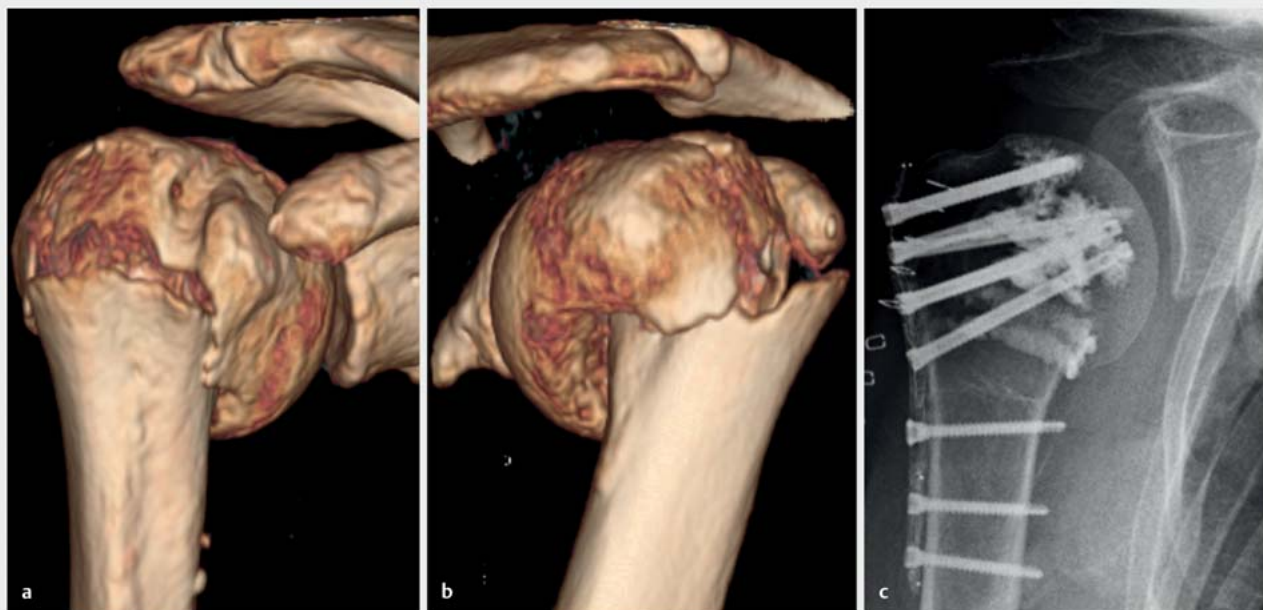
The most important insight from the present study is the observation of a significant increase in 4-part fractures paralleled by a concurrent decrease in 2-part fractures from 2009–2012 to 2014–2017. Also, in addition to an increase in osteoporosis incidence in medical histories, higher-incidence clustering of accompanying diseases was observed in cases of 3 and 4-part fractures.

The literature describes the most frequent fracture morphology as the classic 2-part fracture in the region of the collum chirurgicum following low-energy shoulder trauma, for instance a fall from a standing position [30,31]. The data reported are in most cases from the register, as in Bergdahl et al. and Launonen et al. [30,31]. From 2006 to 2010, Launonen et al. showed a total of 692 proximal humerus fractures, of which 62% were 2-part fractures and 19% were 3-part fractures [31]. By comparison, Bergdahl et al. showed 44.9% 2-part fractures and 44% 3-part fractures in a cohort of 1582 patients from 2011 to 2013 [30]. Our comparative study group showed 14% 2-part fractures and 39.9% 3-part fractures as well as 20.3% 4-part fractures from 2009–2012 [27]. These are data recorded in a superregional trauma centre with a focus on shoulder surgery. A comparable patient collective in our dataset from 2014–2017 ($n = 566$ and $n = 589$) revealed a decrease in 2-part fractures to 8.6%, while the percentage of 3-part fractures remained practically the same (36.8%) and 4-part fractures increased to 30%. A synopsis of the two study collectives in this study, together with the published literature, reveals increasing fracture complexity during a one-decade period.

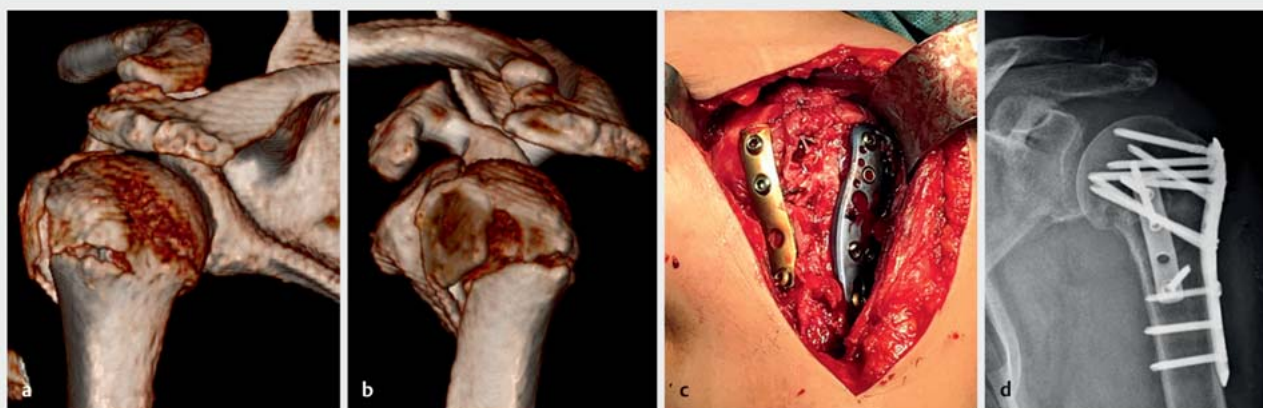


Group 1							
Fracture entity	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Dislocation	Comminuted	Tub. Majus
Co-morbidities							
Osteoporosis	14	28	19	5	3	2	2
Diabetes mellitus	7	28	23	10	4	3	1
Smoking	10	37	24	7	8	5	10
Alcohol	11	36	10	7	3	5	7
Tumor	10	31	22	7	3	4	7
Neurological comorbidity	32	72	20	6	7	5	14
Muscular	0	1	1	0	0	0	0
Others	57	192	58	31	12	13	34
Total	141	425	177	73	40	37	75
Gruppe 2							
Fracture entity	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Dislocation	Comminuted	Tub. Majus
Co-morbidities							
Osteoporosis	14	39	42	8	9	1	9
Diabetes mellitus	7	23	16	7	3	1	6
Smoking	8	43	38	12	3	3	8
Alcohol	3	12	17	4	0	0	8
Tumor	2	16	14	3	4	1	4
Neurological comorbidity	10	31	31	8	3	2	10
Muscular	0	4	3	2	1	0	1
Others	30	109	117	30	21	8	36
b Total	74	277	278	74	44	16	82

► **Fig. 1** a Distribution of numbers of accompanying diseases among fracture morphology classifications. Increase in number of accompanying diseases in 3 and 4-part fractures; b Distribution of secondary diseases among fracture morphology classifications.



► **Fig. 2** 68-year-old m. patient with 3-part humerus head fracture with varus deformation (a–c). Operative approach with radiolucent polyetheretherketone (PEEK) plate osteosynthesis and humerus head screws augmented with bone cement (c). From 2014 to 2017, a PEEK plate was used in 29 cases and cement augmentation was done in 121 cases.



► **Fig. 3** 65-year-old f. patient with varus impacted 3-part humerus head fracture with head-split components (a, b), treated with double plate osteosynthesis (c, d). From 2014 to 2017 a double plate osteosynthesis was performed in 13 cases.

According to Schliemann et al., it is these 3 and 4-part fractures that constitute complex fracture situations [32].

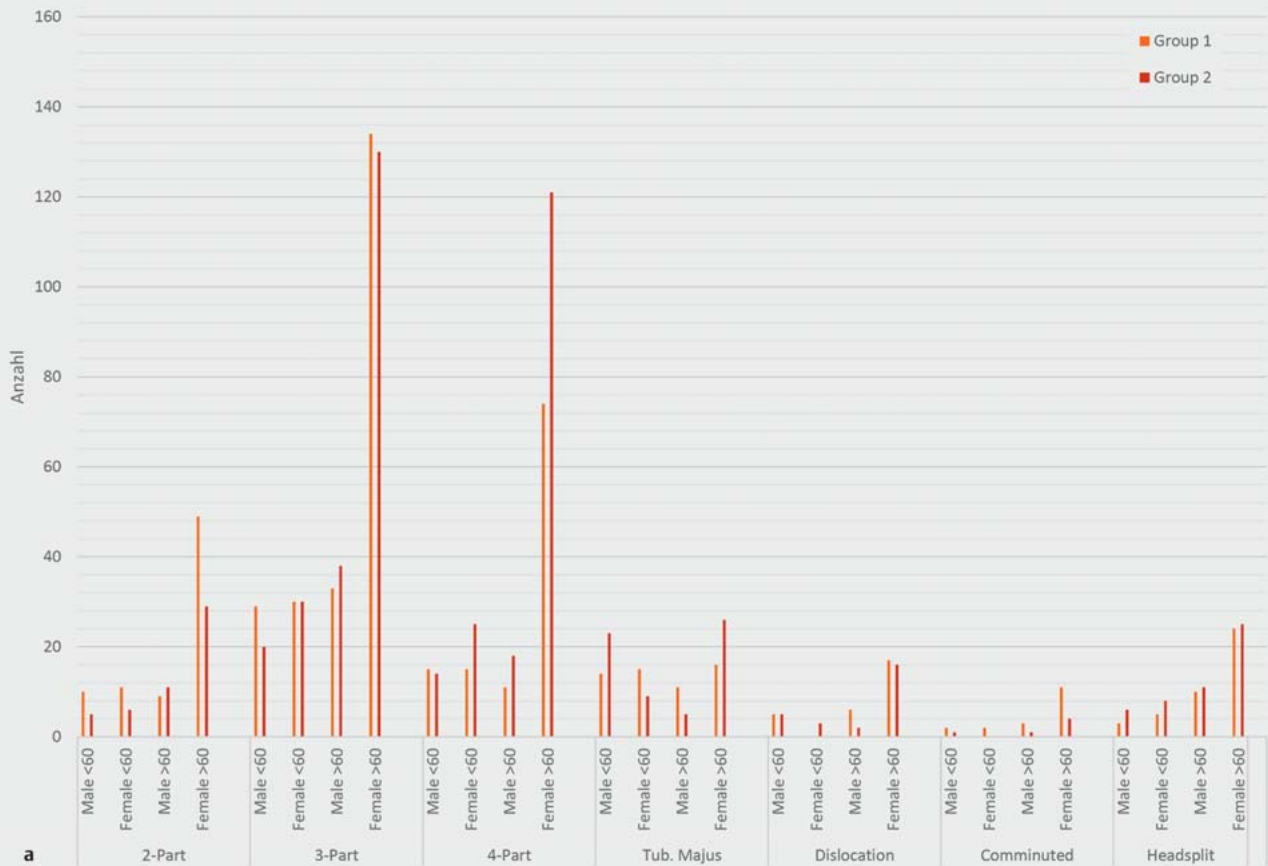
Factors potentially impacting this increase in fracture complexity are the ongoing demographic shift and accompanying factors such as increased incidence of osteoporosis and other accompanying diseases [33]. Our patient collective showed an increase in osteoporosis in medical histories from 13.1% in Group 1 to 20.7% in Group 2.

From 2014 to 2017, the patient collective also showed increased numbers of accompanying diseases with increasing frac-

ture complexity. Female patients also predominate in our patient collective, along with increasing fracture complexity and advanced age (► **Fig. 4**).

This aligns with the observation made by Bahrs et al. of a significant correlation between low-energy trauma, female sex, age over 60 years and presence of more than one comorbidity [33].

On the whole, the patient collective is mainly female, although the proportion of male patients with a PHF shows an increase. In 1970, the proportion of female to male patients was 3.6/1 [3], and in 2010 it was still 2.43/1 [31]. Both patient collectives in our



Group 1							
Fracture	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Dislocation	Comminuted	Tub. Majus
Gender + age							
Male <60	10	29	15	3	5	2	14
Female <60	11	30	15	5	0	2	15
Male >60	9	33	11	10	6	3	11
Female >60	49	134	74	24	17	11	16
Group 2							
Gender + age	2-Part	3-Part	4-Part	Headsplit	Dislocation	Comminuted	Tub. Majus
Male <60	5	20	14	6	5	1	23
Female <60	6	30	25	8	3	0	9
Male >60	11	38	18	11	2	1	5
bFemale >60	29	130	121	25	16	4	26

► Fig. 4 a, b Presentation of fracture complexity, age and sex. A high-frequency clustering of increasing fracture severity, age and female sex is observed.

study reveal a ratio of 2.3/1, whereby the male proportion is on the increase despite the dominance of the female sex. The following risk factors for a PHF are considered to be independent of sex [34, 35]:

- Femur neck bone density
- Falling tendency
- Reduction in height (particularly in women)
- Reduced calcium intake (particularly in men)

A convergence of the two sexes could be assumed here due to the demographic shift. This is in line with the epidemiological evaluation by Court-Brown et al., who observed an age-dependent, sex-independent increase in proximal humerus fractures [35]. Nonetheless, Court-Brown et al. show nearly twice the incidence rate in women in the over-80 age group [35].

In terms of therapeutic strategy, case data from our study centre show an increase in locking plate osteosynthesis and reverse arthroplasty parallel to decreases in conservative therapy, nail osteosynthesis and anatomic arthroplasty.

A possible cause is the decrease in 2-part fractures from 14% to 8.6% at the same time as the fracture complexity increases (3 and 4-part fractures). Limitations on conclusive certainty must of course include the supraregional shoulder expertise of the study centre with corresponding referrals of complex cases, whereby on the other hand only subcapital 2-part fractures with nail osteosynthesis are treated based on the therapy algorithm in ▶ **Table 1**. Reverse shoulder arthroplasty reveals a different picture in this regard. Here, the increase is comparable with the current literature [4, 9, 36]. Sumrein et al., in their Swedish register study including 98,770 proximal humerus fractures, showed an increase in locking plate osteosynthesis and reverse shoulder arthroplasty, while nail osteosynthesis decreased [36].

This aligns with the register study done by Sabesan et al., in which national inpatient sample data from 2004 to 2012 in the U.S. Patient Discharge Registry were evaluated [9]. Increases in reverse shoulder arthroplasty and locking plate osteosynthesis were observed. Going a step further, Sabesan et al. use a mathematical regression model that reveals an increase in reverse arthroplasties of 100% between 2012 and 2032 [9]. Possible causes are [10, 26, 37, 38]:

- Increase in non-reconstructable PHFs with increasing incidence of osteoporosis
- Increase in functionally insufficient rotary cuffs due to demographic shift in patient ages, resulting in advantages over anatomic shoulder arthroplasty
- Superiority to anatomic shoulder arthroplasty in terms of functional outcomes, revision rates and cost efficiency
- Increased wear-and-tear resistance of reverse shoulder arthroplasty, resulting in a trend towards indication-dependent, age-independent use

▶ **Fig. 5** correlates the selected therapeutic strategy with patient age.

Tubercula refixation is an innovation developed in recent years that shows increasing use in our collective. Additive cerclage of the tubercula increased from Group 1 to Group 2 by 21%. At the same time, this aligns with the studies and recommendations of

Anakwenze et al., whose working group reported improved high external rotation from 24° to 15° with anatomic tubercula refixation [39]. This high external rotation is essential to activities in everyday life [37]. In a biomechanical cadaver study, Knierzinger et al. determined load-to-failure advantages for 1 mm titanium alloy wire cerclage systems compared to non-resorbable fibre cerclage (1414 ± 372 cycles compared to 1257 ± 230 cycles) [40]. In our procedure we used wound multistrand 1.3 mm wire cerclages [10]. Past years have seen development of arthroplasty models with a wider variety of possibilities for tubercula refixation so as to optimize this step. This method can result in creation of a stable “closed frame” between tuberculum majus and minus (▶ **Fig. 6**) [10].

Rates of complications vary from 9.2% to 44% in different locking plate osteosynthesis failure analyses [41, 42]. Barlow et al. revealed a connection between the number of fracture segments and the respective rates of complications (2-part: 26%, 3-part: 39%, 4-part: 45%) and concluded that further innovations in fixation techniques for locking plate osteosynthesis were needed [42].

In our patient collective, therapy with locking plate osteosynthesis increased between 2009–2012 and 2014–2017 from 246 cases to 336 (43.2% to 56.7%).

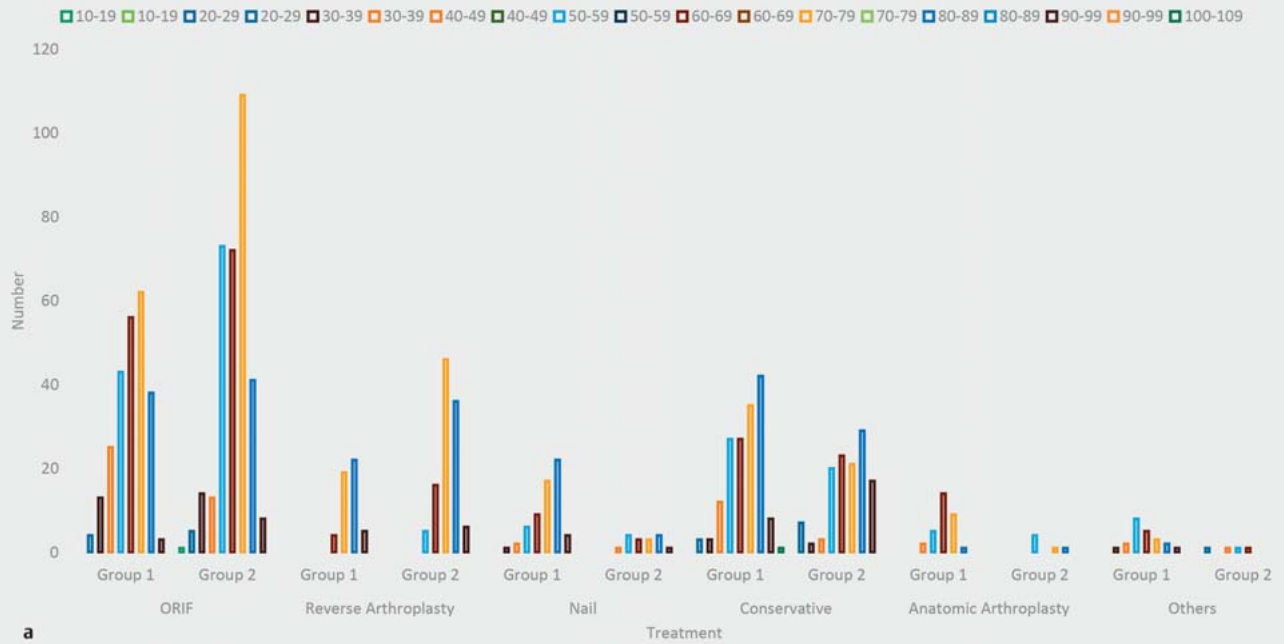
Principal innovations in therapy of proximal humerus fracture in recent years [10, 11]:

- Polyaxial screw systems [12, 13]
- Cement-augmented screws [14–17, 43]
- Carbon fibre-reinforced plates made of PEEK polymer [18–20, 44, 45]
- Double plate osteosynthesis in complex 4-part fractures [21, 22, 46]

Cement augmentation was performed in our patient collective from 2014 to 2017 in 121 (39.4%) of the cases with anchoring screws used in the humerus head. Various biometric studies have demonstrated superiority in terms of load-to-failure in axial rotation and in varus bending [14, 15].

A PEEK plate was used in 29 cases of plate osteosynthesis instead of the conventional carbon-based titanium plates. The first-generation PEEK plate (Arthrex, Naples, USA) did demonstrate a human bone-like elasticity with its reduced rigidity compared to the conventional titanium plate, but biomechanical testing revealed concurrent material failure at maximum load-to-failure [18]. Recent changes in the PEEK plate design (2nd Generation Arthrex, Naples, USA) affected plate thickness and angulation of the humerus head screws. To the best knowledge of the authors of this study, biomechanical studies on this version have not been published as yet. In a prospective, randomized clinical study after 3 and 6 months (comparable to the first generation), Ziegler et al. did not recognize a significant difference from the conventional titanium plates [19].

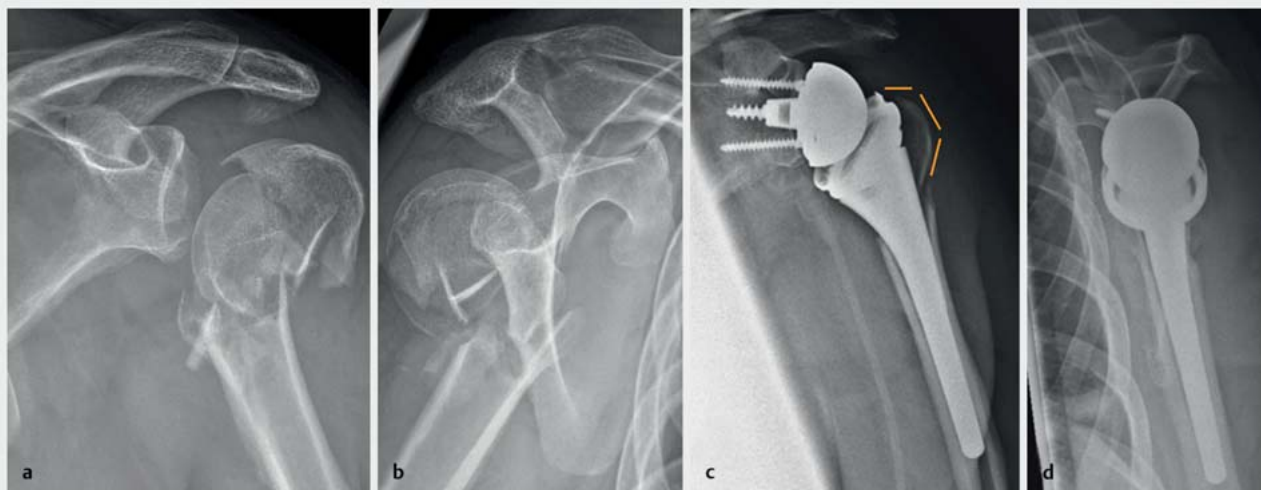
An additive second plate osteosynthesis (DPO) is described in complex fractures at various localizations in the upper extremity [21, 22, 46]. Biomechanical drawbacks regarding the torsion forces in axial and extra-axial bending are observed compared to conventional locking plate osteosynthesis. Possible advantages are seen in particular in cases of fracture with involvement of the



Group 1										
Age Treatment	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109
ORIF	0	4	13	25	43	56	62	38	3	0
Reverse arthroplasty	0	0	0	0	0	4	19	22	5	0
Anatomic arthroplasty	0	0	0	2	5	14	9	1	0	0
Nail	0	0	1	2	6	9	17	22	4	0
Conservative	0	3	3	12	27	27	35	42	8	1
Others	0	0	1	2	8	5	3	2	1	0
Group 2										
Age Treatment	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109
ORIF	1	5	14	13	73	72	109	41	8	0
Reverse arthroplasty	0	0	0	0	5	16	46	36	6	0
Anatomic arthroplasty	0	0	0	0	4	0	1	1	0	0
Nail	0	0	0	1	4	3	3	4	1	0
Conservative	0	7	2	3	20	23	21	29	17	0
Others	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0

b

► **Fig. 5 a, b** Presentation of selected therapeutic strategy correlated with patient age respectively. Age-dependent increases in conservative therapy and reverse arthroplasty are revealed.



► **Fig. 6** 49-year-old patient with non-reconstructable 4-part humerus head fracture with multiple fragments (A/B). Implantation of a reverse shoulder arthroplasty with an angle of inclination of 135° and tubercula refixation, in this case with fibre cerclage. Increase in tubercula refixation from 35% in Group 1 to 56% in Group 2.

tuberculum minus without medial support and with a metaphyseal fragmentation zone [24]. In our study, this technique was used in 13 cases, whereby the additive one-third tube plate was positioned medial from the sulcus bicipitalis in the area of the tuberculum minus.

Limitations

One limitation applying to both time periods studied is certainly the number of referrals in a supraregional level 1 trauma centre with professional association approval for the Major Trauma Injury Type Procedure (SAV) and a focus on shoulder and elbow surgery. This necessarily leads to referrals of SAV No. 7.5 cases with complex fracture situations and possible accompanying vascular, nerve and severe soft tissue traumas.

It can also be assumed in each case that simple fracture types with little dislocation will all receive conservative therapy from colleagues in their own practices and would thus not be considered in this study. Based also on the therapeutic algorithm in ► **Table 1**, according to which only fractures with adlatus dislocation of max. 0.5 cm and/or a humerus head angulation of less than 20° would be conservatively treated, this means the proportion of conservatively treated cases is lower than in the above-mentioned register studies [9].

On the whole, this study represents a purely epidemiological data evaluation intended as a preliminary to a future failure analysis as the next step.

Conclusion

A comparison of two observations periods of the same length in a specialized shoulder centre, 2009–2012 and 2014–2017, shows in the later period a comparative increase in operatively treated

fractures as well as an increase in the complexity of the injuries treated. An increase in osteoporosis was also observed, as well as an accumulation of accompanying disease components in cases of 3 and 4-part fractures.

In addition to new implants (PEEK, fenestrated screws for cement augmentation), new surgical techniques were developed (DPO) in response to the increasing injury complexity. An increase in reverse shoulder arthroplasties in cases of proximal humerus fracture is observed as a consequence of the increasing injury complexity and increasing osteoporosis incidence. Further studies will have to determine whether advances in implants and their adaptations in recent years have resulted in improvements in therapeutic quality.

Conflict of Interest

Conflict of interest. H. Lill is consultant with Arthrex (Naples, USA) and DePuy Synthes (Umkirch, Deutschland). R-O Dey Hazra, RM. Blach, A. Ellwein, JC. Katthagen and G. Jensen state that there are no conflicts of interest.

References

- [1] Court-Brown CM, Clement ND, Duckworth AD et al. The changing epidemiology of fall-related fractures in adults. *Injury* 2017; 48: 819–824. doi:10.1016/j.injury.2017.02.021
- [2] Passaretti D, Candela V, Sessa P et al. Epidemiology of proximal humeral fractures: a detailed survey of 711 patients in a metropolitan area. *J Shoulder Elbow Surg* 2017; 26: 2117–2124. doi:10.1016/j.jse.2017.05.029
- [3] Palvanen M, Kannus P, Niemi S et al. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2006; 442: 87–92. doi:10.1097/01.blo.0000194672.79634.78

- [4] Klug A, Gramlich Y, Wincheringer D et al. Trends in surgical management of proximal humeral fractures in adults: a nationwide study of records in Germany from 2007 to 2016. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019; 139: 1713–1721. doi:10.1007/s00402-019-03252-1
- [5] Jo YH, Lee KH, Lee BG. Surgical trends in elderly patients with proximal humeral fractures in South Korea: a population-based study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20: 136. doi:10.1186/s12891-019-2515-2
- [6] Rikli D, Feissli S, Müller AM et al. High rate of maintaining self-dependence and low complication rate with a new treatment algorithm for proximal humeral fractures in the elderly population. *J Shoulder Elbow Surg* 2020; 29: 1127–1135. doi:10.1016/j.jse.2019.11.006
- [7] Handoll H, Brealey S, Torgerson D et al. The ProFHER (PROximal Fracture of the Humerus: Evaluation by Randomisation) trial – a pragmatic multicentre randomised controlled trial evaluating the clinical effectiveness and cost-effectiveness of surgical compared with non-surgical treatment for proximal fracture of the humerus in adults. *Health Technol Assessment* 2015; 19: 1–280. doi:10.3310/hta19240
- [8] Launonen AP, Sumrein BO, Reito A et al. Operative versus non-operative treatment for 2-part proximal humerus fracture: A multicenter randomized controlled trial. *PLoS Med* 2019; 16: e1002855. doi:10.1371/journal.pmed.1002855
- [9] Sabesan VJ, Lombardo D, Petersen-Fitts G et al. National trends in proximal humerus fracture treatment patterns. *Aging Clin Exp Res* 2017; 29: 1277–1283. doi:10.1007/s40520-016-0695-2
- [10] Katthagen J, Dey Hazra R-O, Raschke MJ et al. Innovationen bei der Behandlung der proximalen Humerusfraktur. *Arthroskopie* 2019; 32: 28–39. doi:10.1007/s00142-018-0243-5
- [11] Warnhoff M, Lill H, Jensen G et al. Proximale Humerusfraktur – was sagt die aktuelle Literatur? *Obere Extrem* 2019; 14: 9–17. doi:10.1007/s11678-018-0496-7
- [12] Königshausen M, Kübler L, Godry H et al. Clinical outcome and complications using a polyaxial locking plate in the treatment of displaced proximal humerus fractures. A reliable system? *Injury* 2012; 43: 223–231. doi:10.1016/j.injury.2011.09.024
- [13] Ockert B, Braunstein V, Kirchhoff C et al. Monoaxial versus polyaxial screw insertion in angular stable plate fixation of proximal humeral fractures: radiographic analysis of a prospective randomized study. *J Trauma* 2010; 69: 1545–1551. doi:10.1097/TA.0b013e3181c9b8a7
- [14] Röderer G, Scola A, Schmölz W et al. Biomechanical in vitro assessment of screw augmentation in locked plating of proximal humerus fractures. *Injury* 2013; 44: 1327–1332. doi:10.1016/j.injury.2013.05.008
- [15] Unger S, Erhart S, Kralinger F et al. The effect of in situ augmentation on implant anchorage in proximal humeral head fractures. *Injury* 2012; 43: 1759–1763. doi:10.1016/j.injury.2012.07.003
- [16] Hengg C, Nijs S, Klopfer T et al. Cement augmentation of the proximal humerus internal locking system in elderly patients: a multicenter randomized controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg* 2019; 139: 927–942. doi:10.1007/s00402-019-03142-6
- [17] Helfen T, Siebenbürger G, Fleischhacker E et al. Operative treatment of 2-part surgical neck type fractures of the proximal humerus in the elderly: Cement augmented locking plate PHILOS™ vs. proximal humerus nail multiloc®. *Injury* 2020; 51: 2245–2252. doi:10.1016/j.injury.2020.06.026
- [18] Katthagen JC, Schwarze M, Warnhoff M et al. Influence of plate material and screw design on stiffness and ultimate load of locked plating in osteoporotic proximal humeral fractures. *Injury* 2016; 47: 617–624. doi:10.1016/j.injury.2016.01.004
- [19] Ziegler P, Maier S, Stöckle U et al. The Treatment of Proximal Humerus Fracture Using Internal Fixation with Fixed-angle Plates. *Dtsch Arztebl Int* 2019; 116: 757–763. doi:10.3238/arztebl.2019.0757
- [20] Schliemann B, Seifert R, Theisen C et al. PEEK versus titanium locking plates for proximal humerus fracture fixation: a comparative biomechanical study in two- and three-part fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2017; 137: 63–71. doi:10.1007/s00402-016-2620-8
- [21] Theopold J, Schleifenbaum S, Müller M et al. Biomechanical evaluation of hybrid double plate osteosynthesis using a locking plate and an inverted third tubular plate for the treatment of proximal humeral fractures. *PLoS One* 2018; 13: e0206349. doi:10.1371/journal.pone.0206349
- [22] Theopold J, Marquäß B, Fakler J et al. The bicipital groove as a landmark for reconstruction of complex proximal humeral fractures with hybrid double plate osteosynthesis. *BMC Surg* 2016; 16: 10. doi:10.1186/s12893-016-0125-6
- [23] Michel PA, Katthagen JC, Heilmann LF et al. Biomechanics of Upper Extremity Double Plating. *Z Orthop Unfall* 2020; 158: 238–244. doi:10.1055/a-0862-6334
- [24] Katthagen JC, Schliemann B, Michel PA et al. Clinical Application and Outcomes of Upper Extremity Double Plating. *Z Orthop Unfall* 2020; 158: 227–237. doi:10.1055/a-0862-1070
- [25] Lopiz Y, Alcobía-Díaz B, Galán-Olleros M et al. Reverse shoulder arthroplasty versus nonoperative treatment for 3- or 4-part proximal humeral fractures in elderly patients: a prospective randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg* 2019; 28: 2259–2271. doi:10.1016/j.jse.2019.06.024
- [26] Sebastián-Forcada E, Cebrián-Gómez R, Lizaur-Utrilla A et al. Reverse shoulder arthroplasty versus hemiarthroplasty for acute proximal humeral fractures. A blinded, randomized, controlled, prospective study. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23: 1419–1426. doi:10.1016/j.jse.2014.06.035
- [27] Katthagen JC, Grabowski S, Huber M et al. Epidemiologie und Versorgungsrealität proximaler Humerusfrakturen an einem spezialisierten Level-1 Traumazentrum. *Obere Extrem* 2016; 11: 112–118. Im Internet: <https://doi.org/doi:10.1007/s11678-016-0362-4>
- [28] Resch H, Tauber M, Neviasser RJ et al. Classification of proximal humeral fractures based on a pathomorphologic analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2016; 25: 455–462. doi:10.1016/j.jse.2015.08.006
- [29] Codman EA. *The Shoulder. Rupture of the Supraspinatus Tendon and other Lesions in or about the subacromial Bursa.* Boston: Thomas Todd; 1934: 313–331
- [30] Bergdahl C, Ekholm C, Wennergren D et al. Epidemiology and patho-anatomical pattern of 2,011 humeral fractures: data from the Swedish Fracture Register. *BMC Musculoskelet Disord* 2016; 17: 159. doi:10.1186/s12891-016-1009-8
- [31] Launonen AP, Lepola V, Saranko A et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *Arch Osteoporos* 2015; 10: 209. doi:10.1007/s11657-015-0209-4
- [32] Schliemann B, Siemoneit J, Theisen C et al. Complex fractures of the proximal humerus in the elderly—outcome and complications after locking plate fixation. *Musculoskelet Surg* 2012; 96 (Suppl. 1): S3–S11. doi:10.1007/s12306-012-0181-8
- [33] Bahrs C, Stojicevic T, Blumenstock G et al. Trends in epidemiology and patho-anatomical pattern of proximal humeral fractures. *Int Orthop* 2014; 38: 1697–1704. doi:10.1007/s00264-014-2362-6
- [34] Nguyen TV, Center JR, Sambrook PN et al. Risk factors for proximal humerus, forearm, and wrist fractures in elderly men and women: the Dubbo Osteoporosis Epidemiology Study. *Am J Epidemiol* 2001; 153: 587–595. doi:10.1093/aje/153.6.587
- [35] Court-Brown CM, McQueen MM. *Global Forum: Fractures in the Elderly.* *J Bone Joint Surg Am Vol* 2016; 98: e36. doi:10.2106/JBJS.15.00793
- [36] Sumrein BO, Huttunen TT, Launonen AP et al. Proximal humeral fractures in Sweden—a registry-based study. *Osteoporos Int* 2017; 28: 901–907. doi:10.1007/s00198-016-3808-z
- [37] Erdle B, Izadpanah K, Eberbach H et al. [Primary fracture protheses and reverse shoulder arthroplasty in complex humeral head fractures: An alternative to joint-preserving osteosynthesis?] *Orthopade* 2018; 47: 410–419. doi:10.1007/s00132-018-3570-3
- [38] Osterhoff G, O'Hara NN, D'Cruz J et al. A Cost-Effectiveness Analysis of Reverse Total Shoulder Arthroplasty versus Hemiarthroplasty for the

- Management of Complex Proximal Humeral Fractures in the Elderly. *Value Health* 2017; 20: 404–411. doi:10.1016/j.jval.2016.10.017
- [39] Anakwenze OA, Zoller S, Ahmad CS et al. Reverse shoulder arthroplasty for acute proximal humerus fractures: a systematic review. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23: e73–e80. doi:10.1016/j.jse.2013.09.012
- [40] Knierzinger D, Heinrichs CH, Hengg C et al. Biomechanical evaluation of cable and suture cerclages for tuberosity reattachment in a 4-part proximal humeral fracture model treated with reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 2018; 27: 1816–1823. doi:10.1016/j.jse.2018.04.003
- [41] Katthagen JC, Huber M, Grabowski S et al. Failure and revision rates of proximal humeral fracture treatment with the use of a standardized treatment algorithm at a level-1 trauma center. *J Orthop Traumatol* 2017; 18: 265–274. doi:10.1007/s10195-017-0457-8
- [42] Barlow JD, Torchia ME, Sanchez-Sotelo J et al. Locking-plate fixation of proximal humerus fractures in patients over 60 continues to be associated with a high complication rate. *J Shoulder Elbow Surg* 2019; 28: e213
- [43] Katthagen JC, Lutz O, Voigt C et al. Cement augmentation of humeral head screws reduces early implant-related complications after locked plating of proximal humeral fractures. *Obere Extrem* 2018; 13: 123–129. doi:10.1007/s11678-018-0440-x
- [44] Katthagen JC, Ellwein A, Lutz O et al. Outcomes of proximal humeral fracture fixation with locked CFR-PEEK plating. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2017; 27: 351–358. doi:10.1007/s00590-016-1891-7
- [45] Padolino A, Porcellini G, Guollo B et al. Comparison of CFR-PEEK and conventional titanium locking plates for proximal humeral fractures: a retrospective controlled study of patient outcomes. *Musculoskelet Surg* 2018; 102 (Suppl. 1): S49–S56. doi:10.1007/s12306-018-0562-8
- [46] Laux CJ, Grubhofer F, Werner CML et al. Current concepts in locking plate fixation of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res* 2017; 12: 137. doi:10.1186/s13018-017-0639-3

